

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE BELLAS ARTES



TESIS DOCTORAL

**De la abstracción geométrica a la morfogénesis
digital: Metaforma: dominio del diseño en el
desarrollo de productos**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Byron Iram Villamil Villar

DIRECTOR

Miguel Ángel Maure Rubio

Madrid, 2018



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

Facultad de Bellas artes
Doctorado en Bellas Artes

Diseño

De la abstracción geométrica a la morfogénesis digital.
METAFORMA: Dominio del diseño en el desarrollo de productos.

Byron Iram Villamil Villar

Director: Miguel Ángel Maure Rubio

2017



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

De la abstracción geométrica a la morfogénesis digital.
METAFORMA: Dominio del diseño en el desarrollo de productos.

Byron Iram Villamil Villar

Director: Miguel Ángel Maure Rubio

2017

AGRADECIMIENTOS

Familia. Amigos. Educadores.



Martha. Aníbal. Mateo. William. Mariem. Maritza. Estefanía. Carolina. Hernán.
Miguel. Cristian. Pablo. Nancy. Gumer. Alejandra. Sammy. Susana. Rosa María.
Miguel Ángel. Mauricio. Antonio. Henry.

Tabla de contenido

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCION	3
3	LA FORMA EN E DISEÑO.	19
3.1	MORFOGÉNESIS EN LA GEOMETRÍA Y LAS MATEMÁTICAS	24
3.2	MORFOGÉNESIS BIOLÓGICA.	27
3.3	L FORMA EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS.	33
3.4	MORFOGÉNESIS: ORIGEN DE LA FORMA	35
3.4.1	CONSTRUCCIÓN DE LA FORMA EN DISEÑO	38
3.4.2	L FORMA EN LOS PRODUCTOS	44
3.4.3	REPRESENTACION 3D DE PRODUCTOS, SUPERFICIES, VOLÚMENES, DETALLES Y TRANSICIONES.	49
3.5	ARTE GENERATIVO MORFOGÉNESIS	54
3.5.1	COHERENCIA E INTERCAMBIO DE FORMAS POSIBLES.	59
3.5.2	EL DISEÑO DE LA MORFOGÉNESIS.	62
3.5.3	ENFOQUE DINÁMICO DE LA GEOMETRÍA EN LA MORFO GÉNESIS.	63
3.5.4	AUTO ORGANIZACIÓN BIOLÓGICA Y DISEÑO DE SISTEMAS.	67
3.5.5	PRINCIPIOS DE APLICACIÓN.	72
3.5.6	INFORMÁTICA Y BIOLOGÍ EN EL DESARROLLO MORFO GENÉTICO	74
3.6	FORMAS TOPOLÓGICAS.	78
3.6.1	NURBS	80
3.6.2	PARAMÉTRICAS.	82
3.6.3	DINÁMICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA FORMA.	84
3.6.4	METAMORFOSIS	86
3.6.5	INDETERMINACIÓN Y AZAR	87
3.7	GENERACIÓN INFORMÁTICA DE ALTERNATIVAS VARIACIONES.	89
3.7.1	U MODELO PARA LA MUTACIÓN Y LA SELECCIÓN.	92
3.7.2	CLASIFICACIÓN GENÉTICA O EVALUACIÓN.	94
3.7.3	FORMA PARAMÉTRICA. (ARQUITECTURA DEL DISEÑO)	96
3.7.4	APLICACIÓN MORFO GENÉTICA EN DISEÑO DE PRODUCTOS	97
3.8	DISEÑO PARAMÉTRICO	100
3.8.1	EL DESAFÍO DEL DISEÑO PARAMÉTRICO	112
3.8.2	ESTRATEGIAS DEL DISEÑO PARAMÉTRICO BASADO EN MODELOS	113
4	MATERIALIZACION DE LA FORMA	119
4.1	PRODUCCIÓN REPRODUCCIÓN MATERIAL DE LAS FORMAS	121
4.1.1	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS Y DIMENSIONALES (GD&T)	124
4.1.2	ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS DEL PRODUCTO GPS	125
4.1.3	MODELOS SUPERFICIE-TRAYECTORIA	125
4.1.4	L CONTINUIDAD GEOMÉTRICA Y MORFOLÓGICA	126
4.2	MORFO GÉNESIS Y FABRICACIÓN DIGITAL	127
4.2.1	MORFOGÉNESIS COMPUTACIONAL Y SISTEMAS MATERIALES	129
4.3	FORMA, SUPERFICIES ESPACIALES Y PRODUCCIÓN.	132
4.4	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA REPRODUCCIÓN MATERIAL DE LAS FORMAS.	136
4.5	IMPLICACIONES DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE REPRODUCCIÓN MATERIAL EN LOS PROCESOS DE DETERMINACIÓN DE LA FORMA.	139
5	MÉTODO Y DOMINIO DE LA FORMA EN DISEÑO	145

5.1	DOMINIO DEL DISEÑO. DOMINIO DE LA FORMA.	149
5.1.1	DICOTOMÍA DEL DISEÑO. TEORÍA PRÁCTICA.	150
5.1.2	CONOCIMIENTOS ESPECIALIZADOS EN LOS DOMINIOS DEL DISEÑO	158
5.1.3	PERCEPCIÓN VISUAL COGNICIÓN EN EL DOMINIO DE LA DETERMINACIÓN DE LA FORMA.	160
5.1.4	INVESTIGACIÓN Y CAMPOS DE ACCIÓN EN DISEÑO Y SUS DOMINIOS.	163
5.1.5	UN ESTRUCTURA DE INVESTIGACIÓN	174
5.2	METODOLOGÍAS PARA LA MORFO GENERACIÓN, E DISEÑO ROBUSTO Y PARAMÉTRICO.	179
5.2.1	MÉTODOS PARA EL DISEÑO	179
5.2.2	MÉTODOS PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO	188
5.2.3	MÉTODOS PARA EL DISEÑO ROBUSTO	193
5.2.4	MÉTODOS PARA PLATAFORMA DE PRODUCTOS	198
5.2.5	OTROS MÉTODOS	203
6	METAPROYECTO. METADISEÑO. METAFORMA.	206
6.1	METAPROYECTO	208
6.2	METADISEÑO	214
6.2.1	MARCO DE DESARROLLO PARA EL METADISEÑO	216
6.2.2	META DISEÑO. CAMBIO CULTURAL. CAMBIO DE PARADIGMA	224
6.2.3	NUEVO ESPACIO DEL METADISEÑO	227
6.3	METAFORMA	234
6.3.1	ORIGEN Y DEFINICIÓN	235
6.3.2	DOMINIO DEL DISEÑO EN LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y LA ERA DIGITAL.	245
6.3.3	L METAFORMA COMO SÍNTESIS DEL EJERCICIO DE DISEÑO.	250
6.3.4	RELACIÓN DISCIPLINARIA	252
6.3.5	PERSPECTIVAS DE LA METAFORMA	254
7	CONCLUSIONES	267
8	TRABAJOS CITADOS	275
9	BIBLIOGRAFÍA	286
10	ANEXOS	290

Lista de figuras

Figura 1 Evolución de los accidentes de la forma y su transformación geométrica.	41
Figura 2 Análisis de Cebra en la continuidad de superficies.	43
Figura 3 Esquema de proceso de diseño en la determinación de la forma y el uso de herramientas desde el diseño y la ingeniería.	45
Figura 4 Diferentes escenarios de uso DGLS:.....	47
Figura 5 Proceso de diseño con soportes informáticos.	49
Figura 6 Transformaciones por puntos de control.	53
Figura 7 Deformación global de un conjunto a partir de los PC's.....	53
Figura 8 <i>Guernica de Pablo Picasso, 1937. Universos paralelos</i>	55
Figura 9. Gráfica del arte generativo y la morfogénesis como analogía entre los sistemas complejos Natural y Artificial.	56
Figura 10 Representación grafica de la dinámica en la morfogénesis.	65
Figura 11 Configuraciones producidas por enjambres.	69
Figura 12 Configuración de enjambre bajo control de algoritmos.....	71
Figura 13 Modificaciones morfológicas no topológicas.....	73
Figura 14 Aplicación de Morfo generación por Fenotipo y Genotipo.	74
Figura 15 Cubierta del Museo Británico.....	76
Figura 16 Le Corbusier: composición volumétrica en la arquitectura antigua.	79
Figura 17 Morfogénesis digital. Figura 2.6 en Digital Morphogenesis.	81
Figura 18 Morfogénesis digital. Figuras 2.7 y 2.8 en Digital Morphogenesis.....	82
Figura 19 Morfogénesis digital. Figuras 2.16 a- b en Digital Morphogenesis.	84
Figura 20 Root chair y Meta-Hom por Sulan Kolatan y Bill MacDonald.....	87
Figura 21 Figura 28 en Future Factories. Fenotipo Forma y Genotipo Lista de datos	90
Figura 22 Figuras 30, 31 y 32 en Future Factories, Transformación de un solido por planos	90
Figura 23 Figuras 33, 34 y 35 en Future Factories, Control de variaciones. Dean (2009)	91
Figura 24 Twist Candlestick	91
Figura 25 Figuras 37 y 38 en Future Factories, Dean (2009).....	92

Figura 26 El proceso de mutación, selección y animación	93
Figura 27 Aspectos de la evolución del diseño informático.	93
Figura 28 Estado Inicial y la forma después de 200 generaciones.....	94
Figura 29 Comprobación de puntuación y funcionalidad	95
Figura 30 El Centro Acuático Nacional de Beijing	97
Figura 31 El Estadio Nacional de Pekín.....	97
Figura 32 Ontología Clásica, Modernista y Parametricista.	104
Figura 33 Nordpark Cable Railway, Innsbruck, Austria	105
Figura 34 Galaxy SoHo, Beijing, China.....	105
Figura 35 Stone Towers, Cairo, Egypt	106
Figura 36 Marco de soluciones en MDG.....	114
Figura 37 Mapeo del espacio de soluciones.....	115
Figura 38 Integración de flujos de trabajo en diseño paramétrico.	117
Figura 39 Transición de superficies con diferencias perceptuales.	134
Figura 40 Modelo de teoría de aprendizaje. Beckman y Barry 2007	154
Figura 41 Flujo del conocimiento directo e indirecto.....	155
Figura 42 Estructura ampliada de los dominios en la práctica y el rol en los dominios	155
Figura 43 Flujo de lo general a lo disciplinar en el dominio de la practica en diseño para la determinación de la forma.....	156
Figura 44 Modelos básico y expandido de ver – operar – ver y la inclusión de la reflexión de Schön	161
Figura 45 Reconocimiento en un modelo ampliado de surgimiento	163
Figura 46 La difusa área de investigación en diseño	165
Figura 47 <i>Categorías de conocimiento de ingeniería de diseño sobre la base de la teoría de sistemas técnicos</i>	165
Figura 48 Marco de razonamiento acerca de las categorías, dominios y trayectorias de investigación de ingeniería de diseño	168
Figura 49 Modelo de topología teleológica del conocimiento del diseño.....	177
Figura 50 Modelo de topología evolutiva del conocimiento del diseño.....	177
Figura 51 Marco de Investigación Wang y Duffy.	178

Figura 52 Restricciones interdisciplinarios entre los modelos de productos.....	189
Figura 53 Plataforma de productos B&D. Familia de productos de bricolaje. Piezas y componentes.....	200
Figura 54 Modelo de diseño flexible	202
Figura 55 El contexto de la CSM (Metodología de Selección de Concepto) en Diseño Flexible.....	203
Figura 56 Estructura de inter relación de temas para el meta diseño propuesto por Fischer y Giaccardi.	217
Figura 57 La determinación de la forma dentro de la ciencia del diseño.	248
Figura 58 Flujo de información en torno a la Metaforma.	255
Figura 59 Flujo de información en torno a la Metaforma en relación a las demandas, condiciones y requerimientos.....	256
Figura 60 Flujo de información en torno a la Metaforma en relación a la morfo generación y la experimentación.	257
Figura 61 Interrelación de la Metaforma con: Marcos conceptuales, Aplicaciones, Contextos y los Desafíos que plantea.....	259

Lista de cuadros

Cuadro 1 La forma en diseño. Consideraciones de origen.....	11
Cuadro 2 La forma en diseño. Consideraciones de Construcción.....	12
Cuadro 3 La forma en diseño. Consideraciones de Producción.....	12
Cuadro 4 Materialización de la forma. Consideraciones de origen, construcción y aplicación.	14
Cuadro 5 Método y dominio en la determinación de la forma en diseño.	16
Cuadro 6 Metaproyecto, Metadiseño y Metaforma.	18
Cuadro 7 Las plataformas digitales.....	98
Cuadro 8 <i>Criterios de configuración básica de Estética, directrices y métodos</i>	118
Cuadro 9 Métodos, modelos y metodologías de diseño robusto para familias de productos que toman base y /o modifican el método Taguchi.	198
Cuadro 10 Definición de la seis dimensiones según Gómez – Senent.	210
Cuadro 11 Comparación Modelo Autores Vs Dimensiones Extrínsecas de Gómez-Senent.	211
Cuadro 12 Diseño tradicional frente a Meta diseño.	218
Cuadro 13 Comparación de las Culturas de Diseño consciente e inconsciente (Fischer & Giaccardi 2006).....	220
Cuadro 14 Niveles del Metadiseño.	223
Cuadro 15 Diez atributos del Meta diseño según Wood.	227
Cuadro 16 Niveles de la Metaforma.....	260

Lista de anexos

Anexo A Acercamiento de los sistemas Complejos a los sistemas de Información.	290
Anexo B Procesos de Fabricación Aditiva	291
Anexo C Competencias y competencias ponderadas según Fundep.	301
Anexo D Competencias identificadas en el ejercicio de egresados de U. Noruega.	303
Anexo E Clasificación de áreas niveles temas de investigación en diseño de Horváth	304
Anexo F Dominios Universidad Técnica de Delft.....	306
Anexo G Competencias en Ingeniería de diseño industrial. TUdelft.....	307
Anexo H Artículos sobre modelos y metodologías de diseño, publicados en la Revista de Ingeniería de Diseño de los años 2005 al 2008.....	309

1 RESUMEN

La determinación de la forma en el diseño a discurrido por diferentes etapas directamente asociadas al desarrollo técnico y tecnológico, desde la abstracción geométrica de las formas naturales hasta la morfo generación digital. Del mismo modo como la primera revolución industrial exigió una nueva manera de tratar las formas de los productos, la nueva revolución digital introduce nuevas herramientas y modelos de trabajo para el desarrollo de la cada vez más compleja tarea de determinación de la forma en el diseño. Los nuevos medios de producción como la Manufactura Digital Directa, las nuevas estrategias y modelos de trabajo como las plataformas y familias de productos y las nuevas herramientas digitales como la programación grafica de algoritmos para el modelado 3D, demandan una nueva conceptualización de los dominios de conocimiento en diseño y una nueva apuesta estratégica para abordar el ejercicio del diseño industrial.

En esta tesis, siempre desde la perspectiva de la determinación de la forma se revisan de manera no exhaustiva tanto las aproximaciones a su determinación objetiva en el nuevo contexto digital, como las herramientas para su desarrollo y posterior transformación en productos terminados, mediada esta revisión por las nuevas estrategias metodológicas y proponiendo un nuevo concepto integrador que se adecua a esta nueva situación y sirve como base a la consolidación de un dominio de conocimiento en el diseño, nuevo concepto que se ha denominado Metaforma.

La Metaforma se presenta como el dominio de conocimiento en diseño que logra integrar la diversidad de requerimientos y condicionantes en la determinación de la forma en diseño, dentro de esta nueva era digital y que permite dar cuenta de la complejidad del ejercicio del diseño, adaptándose a múltiples estrategias de trabajo presentes y futuras.

Palabras clave:

Metadiseño. Metaforma. Morfogénesis. Parametricismo. Topología,

ABSTRACT

The determination of the form in the design to be run by different stages directly associated to the technical and technological development, from the geometric abstraction of the natural forms to the digital morpho generation. Just as the first industrial revolution demanded a new way of dealing with the forms of products, the new digital revolution introduces new tools and models of work for the development of the increasingly complex task of determining form in design. The new means of production such as Direct Digital Manufacturing, new strategies and work models such as product platforms and families and new digital tools such as graphic programming algorithms for 3D modeling, demand a new conceptualization of the domains of knowledge in design and a new strategic commitment to approach the exercise of industrial design.

In this thesis, always from the point of view of form determination, both the approximations to its objective determination in the new digital context and the tools for its development and subsequent transformation into finished products are reviewed in a non-exhaustive way. The new methodological strategies and proposing a new integrative concept that is adapted to this new situation and serves as a basis for the consolidation of a domain of knowledge in design, a new concept that has been called Metaform.

The Metaform is presented as the domain of knowledge in design that manages to integrate the diversity of requirements and constraints in the determination of the form in design within this new digital age and that allows to account for the complexity of the exercise of the design, adapting to multiple forms of present and future work.

Keywords:

Metadesign. Metaform. Morphogenesis. Parametricism. Topology.

2 INTRODUCCION

El interés en la determinación de la forma en el diseño nos conduce a reconocer su desarrollo histórico y relacionarla con el diseño industrial, que es el campo particular de análisis -aun cuando se pueda extrapolar al diseño en general-, a partir de lo cual, esta introducción hace un recorrido sintético del valor de la forma como parte fundamental del diseño.

A su vez se expondrá cómo han sido consideradas, a través del tiempo, las definiciones del diseño industrial, los roles de los diseñadores y las influencias de las nuevas tecnologías y modelos de trabajo; todo ello con el propósito de introducir el marco y la perspectiva desde la que se aborda esta investigación. Del mismo modo se describen los capítulos que componen el documento y dan cuenta de los elementos conceptuales y prácticos sobre los que se apoya el desarrollo del concepto de Metaforma.

La forma es un dominio incuestionable de la disciplina del diseño, por tanto el análisis, la crítica, la construcción y la reconstrucción conceptual y práctica en torno a ella, hacen parte de una dinámica propia de las profesiones liberales como lo es el diseño. Las discusiones sobre si la forma sigue la función, sigue el material o si ésta es copia de la naturaleza, son discusiones que sirven como soporte argumentativo del dominio de conocimiento en diseño y hará parte de su discurso epistemológico de manera permanente entre tanto exista una actividad intelectual a su alrededor y existan cambios en el entorno creativo, productivo y tecnológico.

Independientemente del método, la perspectiva o el tiempo en la historia del diseño, la atención sobre la *forma* como manifestación perceptible subyace a todos los movimientos, estilos y épocas. Desde la segunda mitad del siglo XIX el movimiento Arts & Crafts defendió en el objeto las aportaciones estéticas como productos, reprochando la indiferencia a la plástica de la forma en la industrialización. En la transición y cambio de siglo manifestaciones como, Art Nouveau, Werkbund, Art Decó, las escuelas Expresionistas y otras variantes como Secession Vienes, el Modern Style Británico, la escuela de Glasgow, Liberty Italiano, Jugendstil alemán y el Modernismo Catalán, si bien rechazaban la estética de los estilos históricos, resaltaban los valores formales, entre otros, que aportaba la artesanía,

aun reconociendo la irrupción de la maquina en la producción y con ello dando base a la estética aplicada, que sería desarrollada por el Deutscher Werkbund y De Stijl Holandés entre otros.

La Bauhaus vendría luego a consolidar el diseño industrial y la conciliación entre el arte y la técnica creando formas que simbolizaran el mundo, generando así lo que se denomino “*estética industrial*”. De ahí en adelante diversas visiones moldean la forma con un estilo e interés propio; Styling y Gute Form opuestos, el Pop y Total Design como crisis del funcionalismo, más adelante el Neo artesanado, el diseño posmoderno, el diseño radical y los “ismos” Bolidismo, Materialismo, Neo materialismo, Neo expresionismo, Deconstructivismo, Neo modernismo, hasta hoy, en el diseño ecológico, ambiental, sostenible, tecnológico, generativo y otras tantas expresiones diversas, contradictorias, efímeras y algunas ya decadentes, se manifiestan con sus formas reivindicando ideas, circunstancias e intereses.

Se puede entender que la determinación de la forma es el dominio por excelencia del diseño, los demás aspectos, (sociales, culturales, antropológicos, sociológicos, psicológicos, físicos, técnicos, tecnológicos y de interacción) son útiles si de alguna manera contribuyen a la determinación de la forma, porque solo a través de ella se expresa la síntesis de la amalgama de todas las contribuciones posibles. Por tanto debemos suponer que estas dimensiones están contenidas dentro de los límites formales y técnico-operativos de los objetos; toda consideración del entorno social, de los usuarios y sus necesidades, del entorno tecnológico con sus avances e implicaciones y del entorno económico productivo con sus limitaciones y alcances, estarán dentro de lo que el producto es, teniendo en cuenta que para el observador, la forma es lo que expresa.

Todos aquellos aspectos que tienen origen en el entorno social, es decir la cultura, las costumbres, los lenguajes, los deseos y anhelos dentro de los fenómenos sociales, además de lo meramente físico de la ergonomía y antropometría podrán ser percibidos y leídos por los usuarios en mayor o menor profundidad pero dependerá de su observador y de la calidad expresiva del producto. Del mismo modo la apropiación técnica y tecnológica como principio funcional y operacional del producto serán muestra del entorno tecnológico tanto en el que se desarrolla como en el que se propone desenvolver, siendo esto el reflejo particular de dicho contexto para ser percibido, interpretado y apropiado por los usuarios.

La existencia material del producto sirve al mismo tiempo a dos factores esenciales, de una parte el mercado y la economía que lo soporta, como fenómeno evolutivo de las

sociedades que tiende a hacerse global menospreciando las diferencias e intentando homogenizar la semiótica de los productos y por otra parte al aparato productivo capaz o no de concretar las proyecciones del diseño bajo la estética determinada por los diseñadores.

Si bien la forma recoge todos los aspectos considerados en el diseño y se estima éste como el dominio real de los diseñadores, llegar a la determinación de la forma requiere de la apropiación de conocimientos provenientes de las diferentes áreas que intervienen dentro del entorno para el desarrollo de los productos y un riguroso seguimiento de estrategias y métodos de diferentes modelos, lo que constituye su aspecto interdisciplinar (como se ha considerado por tanto tiempo) aunque su naturaleza se aproxima cada vez más a la transdisciplina, donde los ingenieros aprenden de estética y los diseñadores de programación, materiales, o sistemática animal. Intentando acercarse por medio de un lenguaje común y desarrollando habilidades comunicativas efectivas.

Existen diferentes aproximaciones a la definición del ejercicio profesional del diseño industrial, algunas muy amplias y genéricas, otras más precisas y concretas; con tendencia algunas a los aspectos económicos y comerciales, otras a lo productivo y el mercado y finalmente algunas a lo estrictamente estético, sin embargo un común denominador en ellas es la presencia de la forma, la estética o la apariencia como parte importante en la labor de los diseñadores.

Para el ICSID el diseño industrial es *un proceso de resolución de problemas estratégico que impulsa la innovación, construye el éxito del negocio y conduce a una mejor calidad de vida a través de productos innovadores, sistemas, servicios y experiencias*¹ definición particularmente amplia que podría aplicarse casi a cualquier ejercicio profesional actual, para la IDSA es *el servicio profesional de la creación de productos y sistemas que optimizan la función, el valor y la apariencia para el beneficio mutuo de usuario y el fabricante*², definición que establece un equilibrio entre los distintos aspectos.

Para el Design institute of Australia un diseñador es un *profesional de negocios que desarrolla soluciones a las necesidades comerciales que requieren el equilibrio de los requisitos técnicos, comerciales, humanos y estéticos*³ en donde se señala el equilibrio entre los distintos aspectos pero los separa como responsabilidades, para la Association of Canadian industrial designers el diseño es *una actividad creativa cuyo objetivo es establecer*

¹ International Council of Societies of industrial design. <http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>

² Industrial designers society of America. <http://www.idsa.org/education/what-is-industrial-design>

³ Design Institute of Australia. <http://www.dia.org.au/index.cfm?id=186>

*las cualidades polifacéticas de objetos, procesos, servicios y sistemas en sus ciclos de vida completos*⁴ en donde se resaltan las diversas cualidades del producto que despliega en su definición más amplia y destaca las cualidades expresivas y estéticas.

Para el Ministerio de desarrollo económico de la federación Rusa (expresado por Sekirash Alexander, jefe del estudio de diseño industrialdesign.ru) los *diseñadores determinan la forma de los objetos que nos rodean y tratan de hacerlos lo más funcionales posible, desde la facilidad de uso y la apariencia*⁵, definida desde lo que se ocupan sus profesionales de manera directa y simple; l'esthétique industrielle según el instituto francés de diseño aplicando para su definición la primera ley de la economía es "*la economía de medios y materiales utilizados ... es la determinación de la condición de la belleza útil*"⁶ es decir la relación directa entre los recursos y la estética, y finalmente, para el Instituto Japonés de diseño la acción de diseñar es *tomar libremente a cargo el pensamiento y la metodología de soluciones ingeniosas para cualquier número de retos o problemas, el diseño es una forma de pensar que todos podemos asumir y el poder del diseño se extiende más allá de los individuos a través de sus realizaciones (imagen y forma)*⁷.

En el transcurso de la segunda mitad del siglo XX y a la medida que el impacto y la influencia del diseño se ampliaba, sus alcances y definiciones lo hacían de igual manera, al entrar en su estructura consideraciones de diversos aspectos, ellos se iban incorporando como elementos constitutivos generando una exo-estructura que ampliaba las fronteras de la disciplina y por ello el trabajo interdisciplinario se hizo indispensable y a medida que avanzo en las dinámicas transformadoras del entorno más direcciones podía asumir y el diseñador se convirtió en parte de un equipo en donde cada uno desde su especialidad aportaba a la solución de los problemas con los diseñadores.

De este modo equipos interdisciplinarios interactuaban desde diversas perspectivas, en lo humano, sicólogos, sociólogos, antropólogos, ergónomos y terapeutas entre otros, desde lo técnico, ingenieros de materiales, de procesos, industriales, y especialistas mecánicos, eléctricos y electrónicos, desde el mercado, publicistas, mercadólogos, abogados, y finalmente de acuerdo al área de desempeño del producto, especialistas dentro del área que podrían ser médicos, educadores, etc.

⁴ Association of Canadian industrial designers. <http://www.designcanada.org/what-is-ID.html>

⁵ Industrialdesign.ru. <http://www.news.elteh.ru/arh/2007/44/28.php>

⁶ Institut français du design <http://www.institutfrancaisdudesign.fr/index.php/l-institut/qui-sommes-nous>

⁷ Japan Institute of design promotion. <http://www.jidp.or.jp/en/about/address.html>

Para hacer más cercano el desarrollo de los productos, en los años 80 y 90 se involucro a los usuarios directos e indirectos con el producto, haciendo grupos de enfoque, pruebas beta hasta llegar a hacer partícipes a los usuarios en los equipos de diseño convirtiéndolos en codiseñadores. Dentro de este panorama el papel del diseñador entro en el espacio de la gestión, la coordinación, la observación participativa y de cierto modo en el manejo del modelo de diseño, dejando las decisiones a un colectivo, disminuyendo significativamente la influencia de sus contribuciones.

El estado actual dentro de esta evolución del dominio fundamental de la determinación de la forma, es que se ha visto disipado, por ocuparse con otros roles y relaciones, que si bien son importantes, corresponden a ese ámbito compartido de la transdisciplina, y solo hasta cuando se ve amenazado el campo de acción del diseñador por los pixeladores⁸ y el interés manifiesto por parte de los ingenieros en el desarrollo de la forma, los diseñadores reaccionan tímidamente poniendo nuevamente en valor la forma y más aun, teniendo en cuenta que unos pocos no están convencidos de ello y no lo consideran una amenaza para la consolidación de la disciplina o su evolución. La relación trans e interdisciplinaria del diseño, permite apoyar la determinación de la forma en variables y parámetros concretos y en conclusiones redundantes que confluyen en la configuración de los objetos, pero reconociendo las competencias de cada disciplina y fortaleciendo sus dominios, por lo que es necesario reflexionar sobre los dominios propios y generar perspectivas integradoras dentro de estas relaciones.

Desde la perspectiva de la influencia de las nuevas tecnologías, en este marco del dominio de la forma en el diseño, y más concretamente en su geometría, es necesario abordar dos vías distintas, una desde la abstracción y creación y otra desde el control y modificación. A su vez la abstracción presenta dos alternativas, una referida a la “geometrización” de los entes naturales y otra desde las creaciones a partir de formulas matemáticas que se representan en figuras, lo que permite el manejo consiente y regulado tanto de cuerpos como de formas (topología), cobrando sentido al tener naturalmente un objetivo previamente establecido. Y la segunda vía desde el control y modificación en tanto que la geometría al apoyarse en las matemáticas dota de un nivel de abstracción racional consiente a la generación de la forma y permite el control y manipulación de la misma, a través, en todos los casos de herramientas digitales especializadas cada vez más

⁸ *Pixelador* es la denominación adoptada en algunos lugares a aquellos expertos en programas informáticos usados por los diseñadores como herramienta, pero sin la formación académica en diseño y que con su experticia simulan un trabajo de diseño.

avanzadas, que permiten un flujo de doble sentido entre la abstracción geométrica de las formas naturales y las geometrías cuyo origen es una fórmula matemática.

La influencia de las nuevas tecnologías en el marco del dominio de la forma tiene otro aspecto de vital importancia, dado que ha significado la rotura de los límites o restricciones geométricas y ha permitido abordar la complejidad de las formas, aumentando exponencialmente las posibilidades de experimentación y exploración formal, y éste es, el control digital paramétrico de las superficies, tanto para su configuración como para su materialización/producción. La programación gráfica de algoritmos para la estructuración de las formas bajo parámetros, los códigos (STL, VRML, ZPR y PLY) para el control de la impresión 3D, la conexión de los programas de análisis (elementos finitos, cinemáticos, etc.) con los modeladores paramétricos y las diferentes tecnologías de impresión en múltiples materiales, son algunos de los avances tecnológicos que inciden profundamente en el cambio de las estrategias de aproximación a la determinación de la forma.

La computación y los medios digitales han potenciado el dominio de la geometría cartesiana y no cartesiana para la exploración formal y al mismo tiempo hacerla compatible con otros lenguajes que permiten la concreción física/material como resultado de objetivos previstos. La nueva revolución industrial y el hecho de que los medios digitales estén al alcance de muchos, ha convertido a muchos usuarios en “Pseudo diseñadores” y “Pseudo productores”; con lo cual se refuerza la idea dentro del ejercicio profesional del diseño en ser verdaderos especialistas en la determinación de la forma, fortaleciendo la forma como dominio fundamental.

El desarrollo y la evolución de diversos aspectos técnicos y conceptuales del dominio de la determinación de la forma por parte de los diseñadores, ha conducido a estadios más complejos y de mayor experimentación y refinamiento, pero al mismo tiempo de mayor control e íntimamente relacionados con otros dominios y otras disciplinas. Dentro de los aspectos técnicos, los más importantes están asociados con el aumento exponencial de la capacidad de procesamiento digital en el software de dibujo, el modelado 3D paramétrico, la impresión 3D y la manufactura digital directa; y desde los aspectos conceptuales, la capacidad de los diseñadores de incorporar los lenguajes de programación, con el potencial que estos permiten de interactuar con otros dominios y trabajar colaborativamente sin transferencias o transcripciones, colocando a los diseñadores en el mismo terreno de la ingeniería de producto y de producción, convirtiéndose en un verdadero enlace entre la cultura estética y el sistema industrial.

Sistema industrial que a su vez responde a esta evolución con la personalización masiva, en la dinámica comercial de renovación e identificación, además que, dado el potencial de la creación y experimentación digital de la forma, se producen cambios en la perspectiva creadora y más allá de formas únicas y estáticas, se tiende al desarrollo de parámetros, de siembras formales, de genes y génesis formales, emulando de cierto modo el ADN y la morfogénesis natural, dando lugar a una forma generativa.

Ninguno de estos rasgos evolutivos o de estos medios sería útil si no existen los modelos de trabajo, las metodologías apropiadas y la solidez de dominios para trabajar colaborativamente. Por lo cual se hace necesario el seguimiento en paralelo de los modelos de trabajo en diseño y particularmente aquellos que toman la determinación de la forma como eje central o de aquellos que así lo permiten, sin olvidar que también deben poder reflejar las transformaciones del mercado y la necesidad industrial y comercial de innovar. Por lo cual se ha puesto especial atención en modelos como el modelo Taguchi y las variaciones que lo implementan en las etapas tempranas del diseño, los modelos de diseño robusto, los diversos modelos de diseño paramétrico y otros modelos, que evolucionan o intentan adaptarse a los cambios y demandas de los entornos tecnológicos digitales.

De manera consecuente con los cambios en los modelos metodológicos y las estrategias de trabajo, los dominios de conocimiento y competencias de los diseñadores se han tenido que evaluar y reelaborar justamente para asumir ese carácter adaptativo que se les demanda, y son múltiples los esfuerzos que se vienen desarrollando desde agrupaciones de diseñadores, universidades, centros de investigación y consorcios público/privados con interés en el desarrollo industrial y comercial apoyado en el diseño. Los dominios del diseño y particularmente del diseño industrial se definen cada vez más por las influencias del desarrollo tecnológico, tanto en sus herramientas y mediación digital de sus modelos de trabajo, como de la infraestructura industrial altamente tecnológica y digital.

Finalmente en este recorrido de las afectaciones en la determinación de la forma en diseño y como marco de referencia, se identifican los conceptos de Metaproyecto y Metadiseño que van desde lo estratégico como plan global de un entorno hasta las líneas de acción o planeamiento del diseño, en la particularidad de un proyecto. Conceptos que permiten especular con el siguiente nivel referido al dominio fundamental de la forma, como

arquitectura fundacional de las especies formales⁹ que introduzco en esta tesis y denomino Metaforma.

La estructura de esta tesis esta dada por cuatro capítulos que desarrollan este recorrido de manera amplia, aunque no exhaustiva, con el propósito de generar un panorama alrededor de la *forma en diseño* desde diferentes aspectos, recogiendo particularmente prácticas en la construcción y determinación de la forma relacionadas tanto con conceptos y modelos de trabajo, como con las prácticas propias del diseño actual. Cada capítulo esta constituido por Apartados y temas que se complementan para armar este panorama en el imaginario del lector y así poder dar un soporte contextual e introducir el concepto de Metaforma.

La lectura de la tesis podría darse de dos maneras, la primera, abordando su lectura después de esta introducción desde el capítulo 5 y retomando luego los capítulos 2, 3 y 4, o de manera lineal común, de la introducción a los subsecuentes capítulos. Igual para efectos de guía en esta introducción están las descripciones y los temas tratados en cada uno de ellos.

La forma en el diseño. (Capítulo 2)

A través de un breve y particular recorrido entre analítico y descriptivo se reseña la forma en el diseño, desde las primeras aproximaciones a su definición a partir de la geometría hasta las mejoras formales en los productos bajo las estructuras de parámetros. Descripciones que si bien no son exhaustivas para abordar la complejidad de la construcción y determinación de la forma, si permiten dar base a algunas afirmaciones que pretenden cobrar validez e incorporarse al debate de los dominios y competencias del diseño industrial. Todo ello con el propósito de generar un panorama que permita de una parte demostrar que la denominada “forma” en el diseño resulta limitada en cuanto a las demandas del ejercicio del diseño actual y al mismo tiempo justificar la aparición de un concepto como la Metaforma que va más allá de los limites preconcebidos y se acomoda de manera más precisa a las prácticas actuales del diseño y sus exigencias dentro de la era digital.

⁹ En relación a los planteamientos de Sodu y Colabella dentro del arte generativo, las Especies Formales vienen a ser grupos de objetos únicos que poseen características de origen compartidas, en una analogía al material genético biológico, como ADN Formal. La *Especie* se constituye como elemento fundamental en el diseño de la era digital y la tercera revolución industrial. Este documento refiere repetidamente a esta denominación de Especie, haciendo alusión a esta idea de Especie Formal.

El capítulo esta compuesto por ocho apartados divididos a partir de tres consideraciones, en primer lugar la génesis de la forma, su origen como referente y abstracción de la naturaleza y su aplicación en los objetos,

Capítulo 2	La forma en diseño			
	Apartados	Partes	Temas	Autores
Consideración Origen.	Morfogénesis en la geometría y las matemáticas		Origen de la geometría y su relación con la descripción de las formas de la naturaleza	Tales de Mileto. Pitágoras. Euclides. Gastaldo.Devlin. Skinner
	Morfogénesis biológica		Estudio de las formas de la naturaleza y su relación con el diseño. La abstracción y los procesos intelectuales para la construcción de representaciones con la geometría y las matemáticas	D'Arcy Thompson. Matila Ghicka. Cook. Skinner. Hidalgo.
	La morfogénesis en el desarrollo de los productos		La transición entre la mimesis o copia de las formas de la naturaleza a la creación de la forma para los productos Relaciona el dominio de la materia con las demandas de funcionalidad y adaptación para la producción.	Ghicka, Mandelbrot. Poincare.
	Morfogénesis. Origen de la forma		La materia como origen de la forma. Desarrollo de las formas en relación a los procesos naturales en la evolución de los productos. Comunicación y expresión de los objetos, el lenguaje de la geometría.	Manzini. Patiño. Arbelaez.
		Construcción de la forma en diseño	Construcción de la forma a partir de las cualidades de los materiales. Morfología asociada a la funcionalidad de un producto y los procesos de manufactura. Construcción controlada de la forma	Benyus. Sanchez. Valencia. Muñoz. Lopez. Bonsiepe
		La forma en los productos	Relación estética / producción. Distancia entre forma en diseño y forma en ingeniería. Evolución del modelado digital hasta la Manufactura digital directa. Restricciones geométricas, Especificaciones geométricas. Directrices de diseño	Ulrich. Eppinger. Cristfolini. Fujita. Nakayama. Akagi. Filipini. Bandera.
		Representación 3D de productos, superficies, volúmenes y detalles	Principios matemáticos y geométricos y medios para representar y reproducir líneas y superficies en entornos digitales. Propuesta de ADN Formal de Hidalgo	DeCasteljau. Bezier. Hidalgo. Lopez. Muñoz. Pernot. Guillet. Piegl. Tiller

Cuadro 1 La forma en diseño. Consideraciones de origen.

En segundo lugar la morfogénesis y el arte generativo como origen de la expresión de las formas dentro de las exigencias de los productos y los medios digitales,

Capítulo 2	La forma en diseño			
	Apartados	Partes	Temas	Autores
		Coherencia e intercambio de formas posibles	Matriz de diseño y la construcción de alternativas viables. Especies formales.	Soddu. Colabella
		El diseño de la Morfogénesis	Proyecto como el ADN de un universo de objetos únicos como especie.	Shin. Yoon. . Bense. Soddu. Colabella
		El enfoque dinámico de la geometría	Confrontación de la producción enmasa versus las múltiples variaciones. Autómatas celulares como unidad de control para la morfo generación y la geometría generativa	Colabella. Soddu.
		Auto organización biológica y diseño de sistemas	Ingeniería morfo genética y el diseño de sistemas complejos. Auto organización natural y auto ordenamiento de los objetos y la auto configuración.	Doursat. Sayama. Michael.

		Principios de aplicación	Los algoritmos generativos pasan del diseñador de estilos individuales al meta diseñador o creador de estilos	Bentley. Bignon. Marin. Lequay. Wetsel. Rosenman.
		Informática y biología en el desarrollo morfo genético	Relación biología e informática en el desarrollo morfo genético de las formas, como dominios sobre la evolución, transformación y seguimiento controlado	Davis. Leach. De Landa. Miranda.
	Forma topológicas		Importancia de la topología en el desarrollo de la forma en los medios digitales.	Kolarevik.
		Nurbs	Descripción. Construcción y control de líneas y superficies Nurbs.	Kolarevik.
		Paramétricas	Determinación paramétrica topológica y no de configuración.	Kolarevik.
		Constantes polinómicas		
		Dinámica en la construcción de las formas	Estudio de la oposición de las fuerzas que modelan el desarrollo de las formas.	Lynn. Kolarevik
		Metamorfosis, indeterminación y azar.	Las formas construidas en los medios digitales por morfo generación y movimiento son inestables y permiten una determinación apoyada en la percepción estética del diseñador	Lynn. Kolarevik

Cuadro 2 La forma en diseño. Consideraciones de Construcción.

Y finalmente la generación de la forma por medios informáticos y la introducción de parámetros en la construcción de la forma dentro de la era digital.

Capítulo 2	La forma en diseño			
	Apartados	Partes	Temas	Autores
		Un modelo para la mutación y selección	Modelo de cuadros de animación para selección de padres formales.	Dean.
		Clasificación genética y evaluación	Establecimiento de parámetros para el más apto de cada generación y que sirven de guía para la selección.	
		Forma paramétrica	Ejemplos de desarrollo formal a partir de parámetros	
		Aplicación morfo genética en diseño de productos.	Comparación de los modelos representativos y generativos de la forma en plataformas digitales	Miret. Camarero. Sarquis.
	Diseño Paramétrico.		Desarrollo del diseño hasta el diseño paramétrico, Rediseño por generaciones y la evolución de un producto, Modelos de adaptación, La unidad en la variedad, Los guiones de funciones o scripts de parámetros. Revisión del proyecto FIORES	Yassine. Palambros. Shumacher. Otto. Wood. Ullma. Shooter. Krishnan. Engel. Browning. Wrigth. Cox. Dankwort. Podehl. Brun. Jabi.
		El desafío del diseño paramétrico	Establecimiento del pensamiento de diseño y el uso de parámetros.	Navarrete. Alexander.
		Estrategias del diseño paramétrico basado en modelos	<i>Estrategias de diseño paramétrico.</i> Modelo de grafos dicromáticos de correlación de variables, dominios, relaciones y soluciones, <i>Dinámica paramétrica.</i> influencia de los parámetros en el rendimiento de un producto <i>Mejora estética del diseño por parámetros</i> diseño paramétrico entre concepto funcional y concepto formal	Marrero. Wagner, Osorio. Silveira. Pahl. Beitz.

Cuadro 3 La forma en diseño. Consideraciones de Producción.

Materialización de la forma (Capítulo 3)

La transformación de la materia en objetos y artefactos es consustancial al diseño y por ende a una determinación de los atributos formales, en otras palabras no hay forma sin sustancia, lo cual hace que la materia y sus procesos de transformación sean una preocupación de los diseñadores. El desarrollo técnico y tecnológico es quien ha permitido que haya una evolución en las formas de los productos, en la medida, que han restringido y progresivamente facilitado el logro de geometrías cada vez más complejas y simplificado procesos que inicialmente eran muy complejos o imposibles.

En este capítulo al igual que en el anterior se hace una revisión no exhaustiva, de los condicionantes de la forma dentro de los procesos productivos, se relaciona la morfogénesis y la fabricación digital y se describen las diferentes tecnologías de Manufactura Digital Directa que se suponen dominaran los entornos productivos en el futuro.

Tres grupos de consideraciones se desarrollan, primero la *Producción y reproducción material de la forma*, que trata sobre la distancia que hay entre quien piensa un objeto y quien lo construye, sobre el pensamiento de lo posible y sobre la reproducción más allá de la producción. Segundo la morfogénesis y las superficies espaciales relacionadas con la producción, que se divide en dos partes, la primera *Morfogénesis y fabricación digital* que trata sobre la sustitución de lo estable por lo variable y la singularidad por la multiplicidad y la segunda, *Forma, superficies espaciales y producción* en donde se revisan las restricciones formales en función de las tecnologías. Y el tercero, también dividido en dos partes, primero las *Nuevas tecnologías para la reproducción material de las formas*, en el que se revisa la evolución de los procesos de producción y cómo estos afectan la determinación de la forma, y segundo las *Implicaciones de la nuevas tecnologías de reproducción material en los proceso de determinación de la forma*, en donde se revisa el estado actual y las proyecciones de la Manufactura Digital Directa, las competencias necesarias y la formación necesaria que deben tener los diseñadores para aprovechar las ventajas de estas nuevas tecnologías

Capítulo 3	Materialización de la forma.		Condicionantes de la forma dentro de los procesos productivos, Relación entre morfogénesis y la fabricación digital. Descripción de las diferentes tecnologías de Manufactura Digital Directa	
	Apartados	Partes	Temas	Autores
Consideración Origen	Producción y reproducción de la forma.		Distancia que hay entre quien piensa un objeto y quien lo construye. El pensamiento de lo posible y La reproducción más allá de la producción	Manzini. Muñoz. López. Lefteri.
		Tolerancias geométricas y dimensionales.	Control del diseño para la producción	

		Especificaciones geométricas de producto	Conformidad para la producción	GPS ISO14253-1 2013
		Modelo superficie trayectoria	Modelos para CNC y nuevas tecnologías.	Molina.
		La continuidad geométrica y morfológica	Análisis de la continuidad de las superficies para la producción	Muñoz. López.
Consideración Construcción	Morfogénesis y Fabricación digital		Lógicas generativas. Modelos de diseño dinámico. Fabricación digital. Fabricas futuras.	Dean. Kolarevik. Britton. Atkinson.
		Morfogénesis computacional y sistemas materiales	Sustitución de lo estable por lo variable y la singularidad por la multiplicidad. Responsabilidad del diseñador en la morfo generación desde la perspectiva del Metadiseño	Menges. Kolarevik. Chu.
	Forma, Superficies espaciales y Producción		Restricciones formales en función de las tecnologías. Las categorías de formas. Capacidades de los sistemas articulados de 3D – CAD – CAM- Competencias de los diseñadores no instrumentales.	Muñoz. Rez. Lopez. Manzini.
Consideración Aplicación.	Nuevas tecnologías para la reproducción material de las formas.		Evolución de los procesos de producción y cómo afectan la determinación de la forma, Evolución de los sistemas de impresión 3D y MDD. Cambios de los productos y la producción. Ventajas de los sistemas MDD. Paso del diseño para la fabricación (DFM) a la fabricación del diseño.	Barnatt. Hopkinson. Hauge. Dikens. Atkinson.
	Implicaciones de las nuevas tecnologías de reproducción material de las forma		Estado actual y proyecciones de la MDD, Competencias y formación necesarias de los diseñadores para aprovechar las ventajas de nuevas tecnologías. Retos que impone la MDD	Probst. Monfadiidni. Frideres. Demetri. Gibson. Rosen. Stucker.Comb. Killi. Capjon.

Cuadro 4 Materialización de la forma.

Método y dominio de la forma en diseño. (Capítulo 4)

La determinación de la forma si bien puede parecer un acto creativo fruto de la inspiración, el dominio estético del diseñador y las destrezas técnicas en la representación, en diseño cada vez más, corresponde a estructuras organizadas de trabajo, a modelos estructurados de control de superficies y a intensiones de diseño. Modelos y métodos de trabajo que evolucionan constantemente dentro de un orden que sistematiza y regula los procesos y las etapas a seguir, métodos de trabajo que se han visto abocados dentro de un proceso de adaptación a incorporar los modelos que exigen las nuevas estrategias industriales y comerciales y al mismo tiempo los que las herramientas digitales imponen.

La denominada nueva revolución industrial y la era digital afecta al diseño especialmente con gran fuerza, provocando que éste se adapte rápidamente a los cambios y adopte tanto las exigencias como los recursos para su ejercicio. Por esta razón se hace necesario en esta revisión de la transición de la abstracción geométrica de las formas a la morfo generación digital, prestar atención a los modelos de trabajo que se adaptan a las nuevas tecnologías y a las herramientas que evolucionan paralelamente a ellas.

Este capítulo trata dos temas complementarios desde la perspectiva práctica de las competencias profesionales del diseño, los métodos y los dominios de conocimiento, nuevamente si ser exhaustivos y más con la intención de generar un marco amplio para el desarrollo del concepto de Metaforma, se abordan de manera general algunos aspectos.

Inicialmente el apartado del *Dominio del diseño, Dominio de la forma* introduce al tema de los dominios en las disciplinas y enmarca el desarrollo de la temática en cuatro Apartados que van desde la dicotomía teoría – práctica del diseño y los conocimientos especializados en los dominios, hasta la relación de percepción visual y cognición y los campos de acción en la investigación del diseño. El segundo apartado trata las *Metodologías para la morfo generación, el diseño robusto y el diseño paramétrico*, y esta constituido por cinco partes que relacionan las metodologías de diseño con los avances tecnológicos y los cambios en los roles de los diseñadores, los métodos específicos para el diseño robusto, el diseño paramétrico y el diseño de plataformas de productos, y termina reseñando algunos métodos que se apoyan en la determinación de la forma y el uso de herramientas informáticas

Capítulo 4	Método y Dominio de la forma en diseño			
	Apartados	Partes	Temas	Autores
	Dominio del diseño. Dominio de la forma.		Competencias profesionales del diseño, los métodos y los dominios de conocimiento	
		Dicotomía del diseño. Teoría y Práctica	Relación con los dominios, con los problemas perversos y entre conocimiento científico y sentido común. Relación entre exploración / construcción y análisis / síntesis. Pensamiento de diseño, la observación reflexiva y la experimentación concreta.	Horvath. Archer. Beckman. Barry. Hinrichsen. Cross. Preuss. Prestholt.
		Conocimientos especializados en los dominios del diseño	Construcción de los conocimientos en diseño apoyados en la experiencia. Fortalecimiento de los dominios desde la representación y la visualización.	Hatano. Popovic. Oxman.
		Percepción visual y cognición en el dominio de la determinación de la forma	Relación entre la visión, la percepción y la cognición frente al surgimiento de la forma. Surgimiento de la forma como gramática de las formas y su operación en los modelos computacionales.	Oxman. Schon. Stiny. Stasewski.
		Investigación y campos de acción en diseño y sus dominios	Panorama de la investigación en diseño por áreas o categorías, dominios, trayectorias y enfoques. Incidencia de la tecnología en los dominios. Ejercicio del diseño en la diversidad de las prácticas.	Horvath. Pugh.
		Una estructura de investigación	Modelos de investigación en diseño que relacionan modelos, dominios y competencias. Cambios en las competencias en concordancia con la tecnología, la educación, el comercio y la práctica. Roles y papeles del diseñador de acuerdo a las competencias y dominios	Wang. Duffy. Liu. Prestholt. Bruce. Tharp. Yang.
	Metodologías para la morfo generación, el diseño robusto y paramétrico		Relaciona las metodologías de diseño con avances tecnológicos y cambios en los roles de los diseñadores. Los métodos específicos para el diseño robusto, el diseño paramétrico y el diseño de plataformas de productos.	

		Métodos para el diseño	Evolución del diseño frente a los roles del diseñador, los métodos de trabajo y los medios digitales, Métodos de trabajo frente a los avances tecnológicos en los entornos digitales. caracterización de los procesos y su alianza con la computación	Simon. Maher. Valtonen. Ulrich. Eppinger. Horváth. Pugh. Margolin. DiSalvo. Dilnot. Dewey. Etc.
		Metodologías para el diseño paramétrico	Alcances de la creación y la creatividad sobre las plataformas de CAD y CAD avanzado. Relación del pensamiento de diseño con las herramientas del diseño paramétrico.	Salim. Burry. Kleiner. Anderl. Akin. Iordanova. Lee. Gu. Jupp. Jin.
		Metodologías para el diseño Robusto	Diseño para la manufactura desde las etapas tempranas de diseño con parámetros, hasta modelos avanzados del método Taguchi con herramientas digitales. Matriz cartográfica de dominios de la Universidad Tecnológica de Munich	Xue. Zhang. Lin. Eppinger. Tyson. Yassine. Jiang. Allada.
		Métodos para plataforma de productos	Cómo se ha llegado al desarrollo de plataformas de productos y cómo se da la relación de plataformas de productos con los algoritmos genéticos y meta modelos.	Simpson. Nayak. Allen. Höltä. Meyer. Lehnerd. Thévenot. King. Sivalogathan.
		Otros métodos	Métodos que relacionan la determinación de la forma y los medios digitales. La combinación de modelos de optimización topológica y de la forma. La interpretación de bocetos basado en la gramática de las formas. La intensión de diseño por medio de ingeniería inversa. reconocimiento de plantillas y líneas de carácter.	Langerak. Vergeest. Mengon. Cheute. Kobayashi. Larsen. Cheutet. Horvath. Mengoni. Ruiz.

Cuadro 5 Método y dominio en la determinación de la forma en diseño.

Metaproyecto. Metadiseño. Metaforma. (Capítulo 5)

Llegar a la construcción de un concepto como la Metaforma más que ser una estructura que sienta sus bases en la revisión de postulados teóricos y que progresivamente se compone de teorías e ideas que se entrelazan dando soporte al surgimiento de una idea innovadora, ha sido un descubrimiento sobre los hechos y la practica consistente de muchos diseñadores e investigadores que a través de su ejercicio han demostrado que, así como ciertas categorías debían en su momento reflejar el desarrollo del diseño y propusieron ideas como el Metaproyecto o el Metadiseño, han permitido que pudiera identificar aquello que más allá de la forma, ese dominio fundamental, se estaba tratando con limites nuevos, con espacios nuevos, con lenguajes nuevos y con interacciones nuevas, que debían tener un reflejo conceptual. Así surge la idea de articular dentro de un mismo lenguaje esas innovadoras prácticas y esos ambiciosos alcances, y establecer la denominación de Metaforma.

Este capítulo aborda tres conceptos relacionados con los alcances y los dominios del diseño, la primera parte de manera directa trata el *Metaproyecto* como aquella idea basada en la coordinación de la producción industrial de componentes prefabricados para el desarrollo de proyectos y mega estructuras que como un organismo en crecimiento se adapta al medio ambiente y sirve como estructura generativa.

En la segunda parte se trata del concepto de Metadiseño, que desde su definición, sus modelos y sus herramientas se ha dividido en tres apartados, primero el *Marco de desarrollo para el Metadiseño*, en donde se destaca la necesidad de ambientes de programación dentro de los procesos digitales, segundo, sobre los cambios tanto culturales como de paradigma para el Metadiseño y del tránsito del diseño sostenible a la Eco mimética, y tercero, el *Nuevo espacio del Metadiseño*, que describe los nuevos modos colectivos de construir y sus principios, y la tendencia a lo inmaterial y la virtualidad.

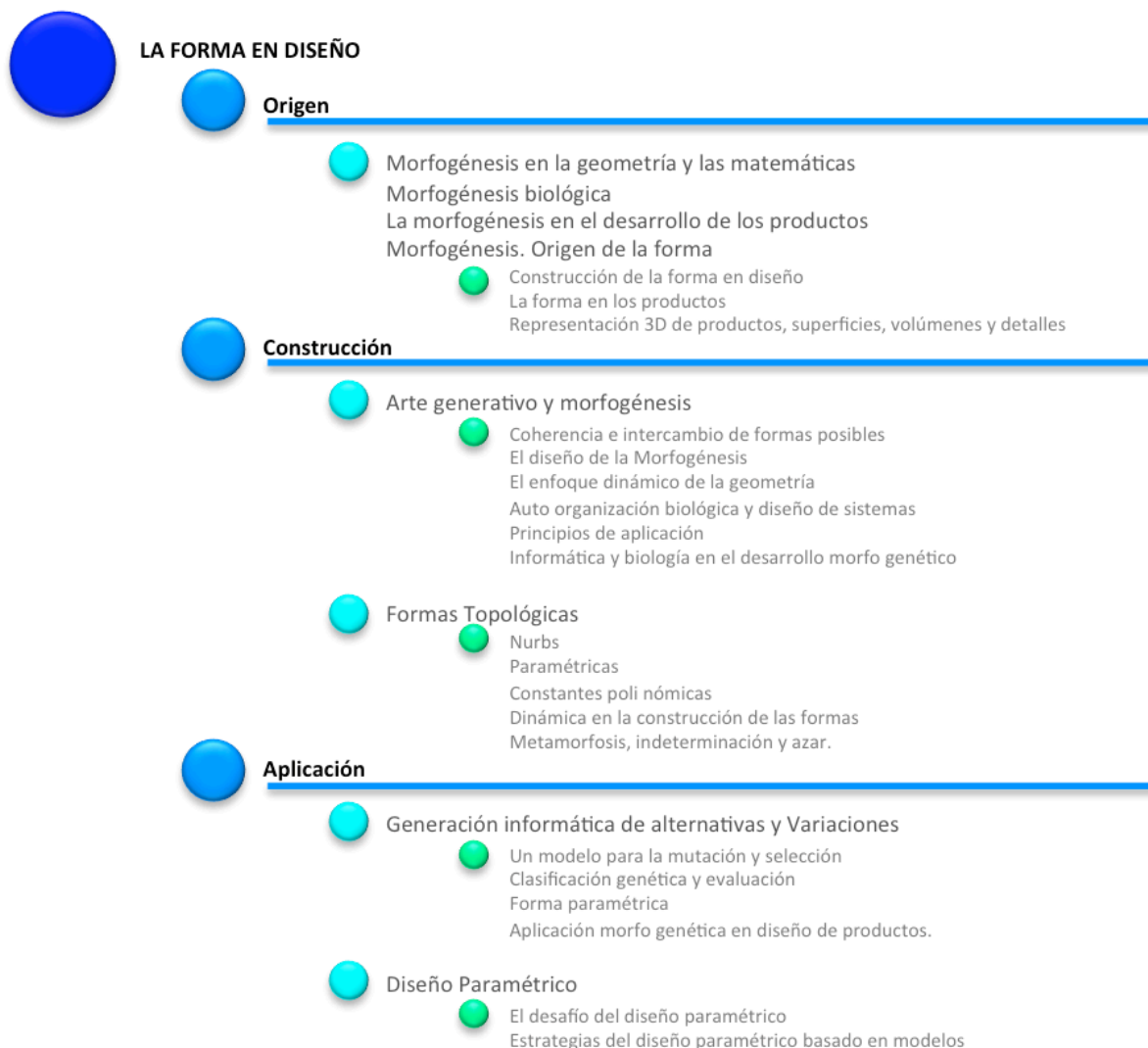
La tercera parte de este capítulo se ocupa del desarrollo de la propuesta del concepto de Metaforma, que se divide en cinco apartados, primero el *Origen y definición* que presenta las razones de su origen y surgimiento, su definición, el rol del diseñador y el desarrollo de conocimientos propios a partir del nuevo concepto. Segundo el *Dominio del diseño en la nueva revolución industrial y la era digital* que presenta una estructura del diseño para la Metaforma y sus cualidades a través de los dominios. Tercero, *La Metaforma como síntesis del ejercicio del diseño* que trata sobre la evolución del diseño dentro de la era digital, la síntesis del ejercicio del diseño y las estructuras "Meta". Cuarto, *La relación disciplinaria* que presenta la Metaforma como un concepto integrador, como un dominio de enlace y como un dominio de conocimiento integrador que concatena el diseño sobre si mismo. Y un quinto apartado que se ocupa de las *Perspectivas de la Metaforma*.

Capítulo 5	Metaproyecto. Metadiseño. Metaforma.			
	Apartados	Partes	Temas	Autores
	Metaproyecto		Idea basada en la coordinación de la producción industrial de componentes prefabricados para el desarrollo de proyectos y mega estructuras que como un organismo en crecimiento se adapta al medio ambiente y sirve como estructura generativa	Mendini. Oliveri. Imperiale. Gómez-Senent. Mulet. Vidal. Proni. Colombo. VanOnck. Becerra. Cervini. Bianchi.
	Metadiseño		Definición, sus modelos y sus herramientas	Van Onck. Maturana. Varela. Giacardi. Capra. Vassao. Youngblood. Puig.
		Marco de desarrollo para el Metadiseño	Necesidad de ambientes de programación en procesos digitales para integrar el Metadiseño. Modelos de aplicación del Metadiseño con participación de usuarios en medios digitales. Diferentes manifestaciones y niveles de integración del Metadiseño. Desarrollo de "semillas" a partir del dominio	Fischer. Giacardi. Scharff. Nardi. Ostwald. Alexander.
		Metadiseño. Cambio cultural.	Cambios tanto culturales como de paradigma para el Metadiseño	Maturana. Wood. Benyus. Faiclough. Fuller. McDonough. Braungart
		Nuevo espacio del Metadiseño.	Nuevos modos colectivos de construir y sus principios. Tendencia a lo inmaterial y la virtualidad. Nuevos espacios que el diseño debe abordar. Paso de un diseño planificador a un diseño de siembra.	Giacardi. Soddu.
	Metaforma			
		Origen y definición	Razones de su origen y surgimiento, su definición, El rol del diseñador y el desarrollo de conocimientos propios a partir del nuevo concepto	Byron Iram Villamil

		Dominio del diseño en la nueva revolución industrial y la era digital	Estructura del diseño para la Metaforma y sus cualidades a través de los dominios	Byron Iram Villamil
		La Metaforma como síntesis del ejercicio de diseño	Evolución del diseño dentro de la era digital, la síntesis del ejercicio del diseño y las estructuras "Meta"	Byron Iram Villamil
		Relación Disciplinaria	La Metaforma como un concepto integrador, como un dominio de enlace y como un dominio de conocimiento integrador que concatena el diseño sobre si mismo	Byron Iram Villamil
		Perspectivas de la Metaforma	<i>Metodológicas</i> , marco de acción a diferentes niveles para abordar la complejidad e integrarse a diversas metodologías, <i>Técnicas</i> , establece relación con herramientas tecnológicas en el desarrollo de las etapas del diseño de productos, <i>Productivas</i> desarrollo y transformación de los procesos de producción y su inserción digital, además de la adaptación de todos los procesos a través de la Metaforma, <i>Investigativas</i> a partir de un nuevo dominio como la Metaforma se generan nuevas relaciones, nuevos protocolos y nuevas posibilidades investigativas, y todas aquellas que permitan su validación y evolución.	Byron Iram Villamil
		Metaforma en la manufactura		Byron Iram Villamil
		Proyección de la Metaforma		Byron Iram Villamil

Cuadro 6 Metaproyecto, Metadiseño y Metaforma.

3 LA FORMA EN EL DISEÑO.



En este capítulo a través de un particular recorrido desde diversos puntos de vista se describe la forma en el diseño, desde las primeras aproximaciones a su definición a partir de la geometría hasta las mejoras formales en los productos bajo las estructuras de parámetros, todo ello con el propósito de generar un panorama que permita de una parte demostrar que la denominada “forma” en el diseño resulta limitada en cuanto a las demandas del ejercicio del diseño actual y al mismo tiempo justificar la aparición de un concepto como la Metaforma que va más allá de los límites preconcebidos y se acomoda de manera más precisa a las prácticas actuales del diseño y sus exigencias dentro de la era digital.

A través de ocho Apartados se realiza este recorrido entre analítico y descriptivo, que da cuenta de ideas de la construcción de la forma desde la geometría y la topología, hasta la

construcción dinámica paramétrica, que si bien no son exhaustivas para abordar la complejidad de la construcción y determinación de la forma, si permiten dar base a algunas afirmaciones que pretenden cobrar validez e incorporarse al debate de los dominios y competencias del diseño industrial.

Estos ocho Apartados están divididos a partir de tres consideraciones, en primer lugar la génesis de la forma, su origen como abstracción referente de la naturaleza y su aplicación en los objetos, en segundo lugar la morfogénesis y el arte generativo como origen de la expresión de las formas dentro de las exigencias de los productos y los medios digitales, y finalmente la generación de la forma por medios informáticos y la introducción de parámetros en la construcción de la forma dentro de la era digital. Cerrando de este modo el transito desde la abstracción geométrica hasta la morfogénesis digital en cuanto a la determinación de la forma, en los siguientes capítulos se tratara desde la materialización como elementos físicos y desde los modelos de trabajo y los dominios del diseño.

En los cuatro Apartados que corresponden a la génesis de la forma se desarrollan las ideas de la *Morfogénesis en la geometría*, la *Morfogénesis biológica*, *La forma en el desarrollo de los productos* y finalmente la *Morfogénesis como origen de la forma*; esta ultima desde tres componentes relevantes como son la *construcción de la forma en diseño*, *la forma en los productos* y *la representación 3D de los productos*.

El apartado de la *Morfogénesis en la geometría* describe desde el origen de la geometría y su relación con la descripción de las formas de la naturaleza hasta la consecuente construcción de las formas por el hombre. Tal construcción de formas mediada por el estudio científico de las formas a través de la matemática y la misma geometría, en donde Tales de Mileto, Pitágoras y posteriormente Euclides establecen esta ciencia considerada la abstracción de las ciencias de la naturaleza como una de las siete artes liberales que debían ser estudiadas. Allí mismo se describe la relación de la geometría con el algebra y cómo los métodos de unas ciencias podían ser aplicados en otras, afectando su desarrollo e influyendo en su construcción, tomando como referencia el trabajo de Blanca Gastaldo en donde se analiza la influencia del método científico y la geometría en el diseño grafico.

El apartado de *Morfogénesis biológica* aborda el estudio de las formas de la naturaleza y su relación con el diseño tomando como referencia el trabajo de D'Arcy Thompson sobre el crecimiento y la forma, y el trabajo de Matila Ghicka que relaciona el desarrollo de las formas en la naturaleza con el desarrollo de la forma de los objetos por el

ser humano. De otra parte los estudios de Skinner que relaciona la abstracción y los procesos intelectuales para la construcción de representaciones del universo con la geometría y las matemáticas, y más recientemente el trabajo del geómetra y arquitecto Manuel Hidalgo que equipara los procesos de la construcción de la forma en la naturaleza que no tiene objetivos ni plazos, con las creaciones del hombre siempre limitadas por el tiempo y contaminadas en los procesos.

En el apartado de *La morfogénesis en el desarrollo de los productos* se presenta la transición entre la mimesis o copia de las formas de la naturaleza descrita en los Apartados previos, a la creación de la forma para los productos y relaciona el dominio de la materia y las habilidades con las herramientas de los artesanos con las demandas de funcionalidad y adaptación para la producción.

El ultimo y más extenso apartado de este primer grupo de consideraciones, *Morfogénesis origen de la forma* aborda a la materia como origen de la forma referenciando las ideas de Manzini y cómo el hombre desarrolla las formas en relación a los procesos naturales dentro de un proceso de refinamiento y adaptación en la evolución de los productos, también trata la comunicación y expresión de los objetos, el lenguaje de la geometría, y los medios para acelerar el desarrollo de las superficies desde las ideas de Patiño y Arbeláez.

En cuanto a los tres componentes de este apartado tenemos primero *la construcción de la forma en diseño* que aborda inicialmente la construcción de la forma a partir de las cualidades de los materiales naturales y artificiales y los costos ambientales que ello conlleva, retomando las ideas de la biomimesis de Benius, luego aborda la morfología como la generación de la forma y sus propiedades asociada a la funcionalidad de un producto y los procesos de manufactura, finalmente se trata la construcción controlada de la forma dentro de una coherencia propia y con el entorno, que tiene en cuenta las dimensiones denotativas y connotativas para ser producidas en sistemas CAD con sus propias complejidades, referenciando los análisis y propuestas de Sánchez / Valencia y de Muñoz / López.

El segundo componente de este apartado *La forma en los productos* trata la relación de la estética y la producción, la distancia existente entre la forma en diseño y la forma en ingeniería y la evolución del modelado digital hasta la Manufactura digital directa que Ulrich / Eppinger y Cristofolini / Bandera han analizado desde diferentes perspectivas, también aborda las restricciones geométricas, las especificaciones geométricas y las directrices de

diseño que Fujita / Nakayama y Akagi estudian y proponen, para el desarrollo de la forma dentro de los procesos de producción para lograr mayor eficacia.

El ultimo componente de este apartado es la *Representación 3D* que trata sobre la generación de los principios matemáticos y geométricos y los medios para representar y reproducir líneas y superficies con precisión en entornos digitales, señalando los desarrollos de DeCasteljau y Bezier y la propuesta de ADN Formal de Hidalgo con los Puntos de control. De otra parte trata la capacidad de reproducir las imágenes mentales bajo los controles de las capacidades técnicas de reproducción y la posibilidad de hacer visible todo el proceso de creación que a su vez permite hacer los ajustes y cambios pertinentes.

En el segundo grupo de consideraciones tenemos el *Arte generativo y morfogénesis* que esta compuesto por seis partes: *Coherencia e intercambio*, *Diseño en la morfogénesis*, *el enfoque dinámico de la geometría en la morfogénesis*, *la Auto organización biológica y el diseño de sistemas*, *sus principios de aplicación e Informática y biología en el desarrollo morfo genético*. Y las *Formas topológicas* que también esta compuesto por seis partes, *Nurbs*, *Paramétricas*, *constantes poli nómicas*, *Dinámica en la construcción de las formas*, *Metamorfosis* e *Indeterminación y azar*. En términos generales este grupo de consideraciones presenta el origen de la expresión “Generativo” de Soddu y Colabella bajo el concepto de Metadiseño en donde se asocia con el control de la complejidad y el orden y el azar de Shin y Yoon y finalmente con las ideas de coherencia e intercambiabilidad de las formas de Soddu.

En cuanto al primer apartado de este segundo grupo de consideraciones, *Coherencia e intercambio* se presenta la Matriz de diseño y la construcción de alternativas viables de Soddu que recalca la importancia del proceso dentro del diseño y la posibilidad de las especies formales. El segundo apartado, *Diseño de la morfogénesis* trata al proyecto como el ADN de un universo de objetos únicos como especie. El tercer apartado *Enfoque dinámico de la geometría en la morfogénesis* estudia la confrontación de la producción en masa versus la posibilidad de múltiples variaciones en un rango que va de una forma estática a las variaciones dinámicas bajo reglas de transformación y exploración formal, al igual que se estudian los autómatas celulares como unidad de control para la morfo generación y la geometría generativa.

El cuarto apartado, *Auto organización biológica y el diseño de sistemas* trata sobre la ingeniería morfo genética y el diseño de sistemas complejos de Sayama, Doursat y Michel que acercan el diseño a la complejidad y aleja los objetos de ser únicos, a través de la lectura del potencial de los sistemas naturales para auto organizarse y su traducción al auto

ordenamiento de los objetos y la auto configuración. El quinto apartado resume los *Principios de aplicación* de los algoritmos generativos que pasan al diseñador de estilos individuales al meta diseñador o creador de estilos. El sexto y ultimo apartado *Informática y biología en el desarrollo morfo genético*, presenta la importancia de esta relación en el desarrollo morfo genético de las formas, como dominios sobre la evolución, transformación y seguimiento controlado, que desarrollan Davis, Leach y De Landa.

En cuanto al segundo apartado del segundo grupo de consideraciones *Formas topológicas*, que revela la importancia de la topología en el desarrollo de la forma en los medios digitales presentada por Kolarevik se desarrollan apartados relacionados con la representación *Nurbs*, con la construcción *Paramétrica*, con la *Dinámica en la construcción de las formas* como estudio de la oposición de las fuerzas que modelan el desarrollo de las formas y la *Metamorfosis* con el uso de software para la visualización del movimiento en las transiciones para el desarrollo de la forma y finalmente la *Indeterminación y azar* en donde las formas construidas en los medios digitales por morfogeneración y movimiento de las transiciones es inestable, pero por lo mismo permite una determinación apoyada en la percepción estética del diseñador ajustándose a los requerimientos, lo que Kolarevik propone como campos de indeterminación, donde se experimenta con la forma.

El tercer y ultimo grupo de consideraciones al igual que los anteriores esta compuesto por varios Apartados y a su vez dividido en diferentes partes. Tenemos la *Generación informática de alternativas* en donde se explica la experimentación de la forma a partir de parámetros y criterios de transformación como controladores, planteado por Dean en Future Factories, apartado que esta dividido en, *Clasificación genética y evolución* que trata sobre el establecimiento de parámetros para el más apto de cada generación y que sirven de guía para la selección que hace el diseñador, *Forma paramétrica*, que muestra ejemplos de desarrollo formal a partir de parámetros y *Aplicación morfo genética en el desarrollo de productos* donde se comparan los modelos representativos y generativos de la forma en plataformas digitales por Miret. De otra parte tenemos el apartado de *Diseño paramétrico* que presenta el desarrollo del diseño hasta el diseño paramétrico, el rediseño por generaciones propuesto por Yassine y la evolución de un producto por Nelson et al, al igual que los modelos de adaptación de Shumacher, la unidad en la variedad, los guiones de funciones o scripts de parámetros.

También se presenta un revisión del proyecto FIORES de integración estética del diseño y los arboles de requerimientos y física del producto de Brun dentro de los sistemas de diseño paramétrico, apartado que esta dividido en, *Desafío del diseño paramétrico* que trata el establecimiento del pensamiento de diseño y el uso de parámetros, *Estrategias de*

diseño paramétrico que presenta el modelo de grafos dicromáticos de Marrero Martínez de correlación de variables, dominios, relaciones y soluciones, la *Dinámica paramétrica* que analiza la influencia de los parámetros en el rendimiento de un producto y la *Mejora estética del diseño por parámetros* que analiza el diseño paramétrico entre las etapas concepto funcional y concepto formal de Wagner, Osorio y Silveira.

Este recorrido claramente no exhaustivo deja ver como ha evolucionado la determinación de la forma y la forma en los productos y cómo se han venido incorporando modelos de trabajo y herramientas informáticas que permiten abordar la complejidad tanto en lo conceptual como en lo práctico. Se han abordado los diferentes temas especialmente desde la perspectiva práctica y el ejercicio profesional con el propósito de ir un poco más allá de la especulación teórica y ver como diferentes diseñadores y autores referencian el dominio de determinación de la forma y cuales son las tendencias actuales y el futuro de este aspecto del diseño.

Sobre estas consideraciones se apoya la idea del dominio del diseño centrado en la forma, pero no la forma limitada a la expresión, comunicación e interacción ya compleja de por sí, sino una Metaforma que aborda por completo la complejidad del desarrollo de productos, directamente conectada con las diferentes disciplinas que intervienen en su desarrollo, bajo un lenguaje común de parámetros que tiene en cuenta todos los aspectos técnicos, productivos, sociales y económicos. Una Metaforma como dominio fundamental del diseño, plenamente interdisciplinaria, en lenguaje digital, flexible y adaptable al desarrollo tecnológico e industrial actual y futuro.

3.1 Morfogénesis en la geometría y las matemáticas

Origen práctico de la geometría y sus aplicaciones en la creación de la forma.

Algunos algoritmos que permitían calcular longitudes, áreas y volúmenes son testimonio del dominio de los egipcios de la geometría, lo que permitiría reconocer allí su origen, sin embargo con anterioridad por medio de los pictogramas los pueblos primitivos abstraían las formas de los elementos que observaban a su alrededor, por tanto parte de este conocimiento aunque de manera inconsciente se empezaba a generar.

Originalmente la geometría era utilizada para la medición de la tierra y por ello su denominación, sin embargo poco a poco se fue extendiendo su uso y aplicación, pasando a

la abstracción de los objetos reales, es decir que éstos podrían ser manipulados mentalmente y tales imágenes representadas, ser consideradas como ideales. Desde este punto en adelante la formalización de la geometría tendría que pasar por la demostración, constituyendo así las comprobaciones, que apoyadas en la aritmética contribuirían a la consolidación de la matemática.

De Egipto, por medio de Tales de Mileto y desarrollada por Pitágoras y especialmente por Euclides, llega a Grecia y se genera el primer gran desarrollo de la geometría, teniendo como compendio la obra de éste “Los Elementos” en donde establece cinco postulados y sus definiciones y resume toda la geometría y aritmética hasta el momento y que perduraría hasta mediados del siglo XIX.

Las matemáticas y la geometría como parte de ésta, era considerada como la abstracción de las ciencias de la naturaleza y el universo y por ello debía ser estudiada, dado que a través de ella se podría comprender racionalmente la creación; Devlin en “El lenguaje de las matemáticas” refiere al estudio adelantado por los griegos y cómo “...*las matemáticas se convirtieron por vez primera con los Griegos en un área de estudio, y dejaron de ser un conjunto de técnicas para medir, contar y llevar la contabilidad. El interés de los griegos, no era meramente utilitario: las consideraban una ocupación intelectual que poseía elementos a un tiempo estéticos y religiosos*”. (Devlin, 2002, p. 12)

El enorme alcance de las matemáticas y la geometría y la profundidad de sus estudios, les permitieron a los Griegos relacionarla tanto con lo material, como con lo espiritual, con los principios de la naturaleza y el universo, con las creaciones humanas sus formas y sus reglas, con la abstracción y con la demostración, todo ello queda manifiesto en la definición sintetizada de la misma, “*La matemática, es la ciencia que estudia las estructuras abstractas, las numéricas, de las formas, del movimiento, del comportamiento de las cosas, etc.; estructuras reales o imaginarias, visuales o mentales, estáticas o dinámicas, cualitativas o cuantitativas, utilitarias o recreativas. Los distintos tipos de estructuras dan lugar a distintas ramas de las matemáticas como el cálculo, la lógica, las probabilidades, la topología y la geometría...*” (Devlin, 2002, p. 13)

Tanto Egipcios como Griegos construyeron sus templos y tumbas bajo rigurosos cálculos matemáticos, apoyados en la geometría usando especialmente círculos, cuadrados, triángulos, rectángulos y elipses con los que lograban crear proporciones armoniosas utilizando principalmente los números enteros y en menor medida los números irracionales y sus proporciones. De otra parte el arte islámico tomo la geometría como medio de

representación, especialmente con la generación de patrones y repeticiones a partir del círculo y con ello realizo azulejos y mosaicos que dan a sus templos un carácter atemporal.

Con la misma convicción y certeza Galileo Galilei (Astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico italiano 1564-1642) argumentaba y comprobaba teóricamente y con los medios disponibles en su época, que el orden natural de los fenómenos terrestres y celestes estaban escritos en lenguaje matemático, con ello defendía la teoría heliocéntrica de Copérnico y sentaba las bases tanto de la física moderna como de un nuevo enfoque de la ciencia, en *Il Saggiatore* (El ensayador) 1623, Galileo declara que *“La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que continuamente está abierto ante nuestros ojos (a saber, el universo), pero no puede entenderse si antes no se procura entender su lenguaje y conocer los caracteres en que está escrito. Este libro está escrito en lenguaje matemático, y sus caracteres son triángulos, círculos...”* (Galilei, 1623)

En la traducción al inglés que hace Jhon Dee de “Los Elementos” en 1570 éste sostiene en referencia a la geometría que *“estas artes están basadas en la naturaleza y son por tanto sagradas, no inventos arbitrarios del hombre”* (Skinner, 2007, p. 93), así es tanto en su origen por el hecho de que Platón considerara que todo el universo se regía por este orden matemático y geométrico, como en adelante se revisten de ese carácter sagrado; los emplazamientos, las orientaciones, las áreas y los volúmenes de un sinnúmero de construcciones desde los megalitos hasta las catedrales responden a ordenes geométricas y matemáticas.

En la edad media en occidente a pesar de ser considerada una de las siete artes liberales y agrupada dentro del *Quadrivium*, apenas tuvo aportaciones y se enseñó apoyada en “los Elementos”, por el contrario Árabes e Hindúes generaron nuevos caminos y conocimientos especialmente aplicados a la Astronomía.

En el Discurso de método, Descartes procura demostrar la posibilidad de aplicar métodos de unas disciplinas en otras y relaciona el álgebra y la geometría demostrando la posibilidad de representar las formas geométricas bajo formulas algebraicas, a partir de lo cual Newton en “Principios matemáticos de la filosofía natural” presenta un nuevo modelo matemático del universo afectando la ciencia y el arte, particularmente en las ideas de Orden, Espacio, Elemento y Dimensión.

Bajo el modelo Newtoniano del universo, Blanca Castaldo, en “Geometría y método en diseño gráfico: del paradigma Newtoniano a la Teoría General de Sistemas, el Caos y los

Fractales” considera que el modelo metodológico de la creación y el diseño fue impactado particularmente al hacer énfasis en el uso del método científico en la aproximación al análisis de los problemas y en la aplicación y uso de herramientas como la geometría para el ordenamiento de las formas y los espacios, pero al mismo tiempo considera que,

“la teoría científica y cosmológica newtoniana y con ella el método cartesiano, no se materializa de manera absoluta en el mundo del diseño hasta después de la Segunda Guerra Mundial con el uso de la moderna metodología de la proyectación, las teorías de composición y la aritmetización del diseño. Los principios de percepción visual definidos por los psicólogos de la Gestalt y desarrollados por la Bauhaus, extrapolan, el paradigma científico y cosmológico newtoniano al mundo del arte y el diseño, aportando las bases de una teoría coherente y racional, basada en la lógica y en la ciencia, que hace hincapié en el tratamiento objetivo y sistemático del diseño a través del uso de la retícula” (Gastaldo Suau, 2012, p. 272)

Así en mayor o menor medida la geometría ha encontrado desde su consideración espiritual o sagrada hasta su práctica simple de medición y calculo, pasando como consideran algunos por los aspectos metodológicos, una aplicación rigurosa como corresponde a las distintas áreas de las matemáticas. Sin importar que sean grandes artistas o creadores reconocidos, la geometría ha sido utilizada y aporta significativamente a la construcción del entorno artificial en todas sus manifestaciones.

La geometría se ha interpuesto dentro del proceso de diseño y creación y uno de los extremos, desde la percepción hasta la conformación para la fabricación, todo cuanto se ve y se piensa tanto para el artista como para el diseñador se manifiesta como formas y éstas son tanto materiales como inmateriales; la geometría permite transitar desde la inmaterialidad de la idea o la representación de la realidad, como una imagen de lo que es a través de nuestra percepción y pensamiento, hasta la determinación de una forma que se hará realidad tangible y material por medios y tecnologías dominados por el lenguaje de las matemáticas.

3.2 Morfogénesis biológica.

Las formas de la naturaleza y la naturaleza de las formas.

Todo el conocimiento que se desprende de la observación de la naturaleza es fundamental para el ejercicio proyectual de la forma, por que en ella todo esta relacionado y se armoniza eficientemente la forma, la función y el material, y estos son *temas centrales en la cuestión proyectual y que nos enseñarían cómo solucionar mejor nuestros problemas constructivos y técnicos. Quienes sepan observar y extrapolar creativamente, la Naturaleza es una fuente rica en soluciones a problemas de diseño.* (Vanden Broeck, 2000, p. 6)

Aun cuando las formas no son precisas ni exactas en la naturaleza, éstas se modifican, crecen, se desarrollan y trascienden de generación en generación y de especie a especie, pero se aproximan poderosamente a patrones numéricos y geométricos. Son muchos quienes han estudiado y tratado la forma desde múltiples perspectivas, algunas incluso religiosas y mágicas, pero la naturaleza misma de nuestras percepciones, como la de cualquier otro ente natural, se guía por patrones y al parecer, dados múltiples experimentos, reaccionamos y respondemos positivamente a ellos; así puede ser que, de acuerdo a Theodore Cook (1867-1928), la belleza puede estar regida por ordenes o patrones medibles y contrastables en la naturaleza.

En cuanto a las formas en la naturaleza, una de las obras más extensa y completa es la de D'Arcy Wentworth Thompson (1860- 1948), *Sobre el crecimiento y la forma* (1942), con más de 1110 paginas, en donde describe poéticamente la belleza de los seres y su crecimiento por medio del análisis de los procesos biológicos desde la perspectiva física, mecánica y especialmente matemática, Thompson sin ser contradictor de Darwin, se preguntaba si más allá de la selección natural, la evolución de los seres vivos estaba asociada a factores como la física y aunque no planteo una hipótesis en tal sentido y por ende no respondió a este cuestionamiento, si presento profusamente todas las analogías que encontró entre seres vivos y formas físicas, acudiendo a explicarlas por medio de la mecánica, la física y las matemáticas.

Las formas y su crecimiento en la naturaleza, tomadas tanto desde un plano como desde el volumen en su tridimensionalidad, definen configuraciones, limites, proporciones y relaciones por medio de líneas, superficies y volúmenes propiamente dichos, que dan forma al medio natural y que desde la perspectiva de Thompson se pueden medir, cuantificar y calcular.

Cook por su parte intento zanjar las disputas frente a la formulación de la belleza, desde las más científicas a las más estrictas esteticistas, mediando a través de la interdependencia que se presentaba para argumentar de una parte u otra y anteponía un deseo de estar de acuerdo, así *el hombre de ciencia impulsará en general principios sobre*

la belleza menos violentamente, mientras que el hombre de temperamento estético tendrá los argumentos de la ciencia poco a poco (Cook, 1914, p. 10) y después de demostrar que la naturaleza “aborrece” las matemáticas exactas finaliza su libro diciendo que, *todo en la naturaleza es capaz de expresión matemática solo si las condiciones son suficientemente conocidas y la matemática suficientemente compleja*. (Cook, 1914, p. 417) con lo que concluía que las realizaciones humanas contenían y expresaban esa aproximación matemática de la naturaleza en las formas de los objetos y artefactos.

En el vasto recorrido descriptivo Thompson aborda la forma desde diferentes aspectos y trata los problemas de magnitud, las formas de las células y su organización, la forma de los tejidos, las estructuras óseas, la espiral y termina con dos capítulos en donde estudia la eficiencia mecánica de las formas y plantea una teoría sobre el crecimiento y la transformación de las formas en formas afines.

Otra mirada muy amplia que relaciona las formas de la naturaleza y las formas de los objetos, fue desarrollada ampliamente por Matila Ghycka (1881–1965) ingeniero, matemático y abogado Rumano, cuyo interés fue siempre la síntesis de la matemática, pero siendo poeta y escritor logro potenciar la relación de las ciencias básicas y las artes, para 1952 ya había publicado *A Practical Handbook of Geometrical composition and Design*, (1952), *La Geometría del Arte y la Vida* (1946), *Le Nombre d'or* (1931) y *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes* (1927), habiendo huido de la Rumania comunista fue profesor invitado en el área de las artes en la Universidad del Sur de California y en el Mary Washington College.

Ghycka encontraba una relación perfecta entre el desarrollo de las formas naturales y desarrollo de las formas de los objetos contruidos por el hombre, describiendo el proceso de prueba y error que se daba en los dos casos y cómo las formas resultantes hacían parte de un proceso evolutivo y se adaptaban a los usos y las condiciones para ser aprovechados, afirmaba que

“la evolución morfológica de una especie viva en el Curso de las edades, por ejemplo, del caballo, de tal o cual grupo de peces, de cetáceos, etc., sugiere la de un tipo de mecanismos, de aparatos adaptados a un fin, conformados durante un largo transcurso de generaciones, tal como, verbigracia, la evolución de la forma de las embarcaciones y navíos desde la prehistoria. En uno y otro caso hay series de esfuerzos, de tanteos, de ensayos más o menos felices, con fijación de formas útiles y soluciones que difieren según las condiciones de vida o de empleo (adaptación al medio) (Ghyka, 1977, p. 15)

Para Ghycka el estudio de las formas estaba ligado a su funcionalidad y por ello se interesaba en la dinámica y el movimiento, interés que le llevo a tomar como caso de estudio la movilidad y los medios de transporte, encontraba como *“característica común a los mecanismos, herramientas o medios de transporte obtenidos por lentos tanteos, y a las formas animales evolucionadas con una lentitud todavía mayor, la **perfección desconcertante** desde el punto de vista práctico, de su empleo o de su funcionamiento en su medio natural* (Ghyka, 1977, p. 16), de tal modo que las curvas y superficies de una piragua indígena inspeccionada por los ingenieros navales y los pescadores denotaba la forma optima para la navegación tal como lo denotan las formas de un tiburón o un cetáceo, así, *“las Curvas y superficies de carena conseguidas directamente por el cálculo y la mecánica aplicados a la teoría del navío, son a menudo idénticas a las que resultan de la evolución gradual en el caso de los barcos y de los peces. Son dos procedimientos diferentes para resolver el mismo problema”* (Ghyka, 1977, p. 16)

Más allá de las curvas y superficies hace una comparación de diferentes animales en cuanto a su medio natural y el desplazamiento propio en él, así el pato, el ganso o el cisne se aprecian de diferente manera, en un caso muy armonioso mientras nada o vuela y otro menos armonioso cuando camina, estableciendo la “aptitud” de un objeto de acuerdo a condiciones puramente estáticas (peso, volumen, perfil, resistencia, etc.) y otras condiciones dinámicas, cuando el objeto esta destinado a un movimiento y un uso (mecánica) de tal modo que *“la correlación entre el éxito, el equilibrio estático y dinámico y la adaptación a su fin de un objeto, de un mecanismo o un animal, tiene importancia incluso cuando solo se trata de su imagen* (Ghyka, 1977, p. 17)

El prospecto de la Asociación de la industria y el diseño (Design and industries association) fundada en 1915 en el Reino Unido, creada para la cooperación entre los artistas y los fabricantes señalaba que la primera necesidad del diseño es su aplicación practica idónea (*The first necessity of sound design is fitness or use*), lo que *The Times* (17 de mayo de 1915) aprobaba diciendo que *“Nuestro error en todas las artes aplicadas ha sido suponer que había incompatibilidad, conflicto inevitable entre las facultades artísticas por un lado, y las facultades mecánicas, científicas o y comerciales por el otro, porque, de hecho, el arte y el sentido común no tenían ningún punto de Contacto. Pero no se puede (en arte aplicado) tener arte sin sentido común, ni sentido común sin arte”* (Ghyka, 1977, p. 17)

En, **Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes**, Ghycka desarrolla temas como la Proporción, las entidades geométricas, las particiones del espacio

y los cánones dinámicos y dedica un capítulo al Crecimiento Armonioso, todo ello ligado y asociado a la relación entre las formas naturales y las formas creadas por el hombre en un intento cada vez más fuerte de relacionar la ciencia con el arte y dar una explicación de las formas en la naturaleza y cómo estas sirven de referencia a las formas de los objetos y artefactos, llegando a conclusiones como que, en las formas inorgánicas prevalecen las divisiones homogéneas o simétricas del espacio en redes cubicas y hexagonales y todos sus derivados arquimedianos pero nunca los cuerpos platónicos pentamerales, estos se presentan en el caso de los animales y las plantas siempre con aproximaciones a la sección aurea.

Al mismo tiempo los seres vivos tienden al uso eficiente de la materia (sustancia), esto, por su lucha contra la gravedad (los arboles por alcanzar la luz, las aves para volar, los animales para correr y saltar). Podrían verse ejemplos de la arquitectura y el diseño como “luchan” para vencer el problema del empuje vertical (columnas y estructuras) con máxima economía de materia, finalmente Ghika citando a Curie dice que *“La naturaleza tiende al uso de la mínima energía para su dinámica, desarrollo y evolución. Curie, “Un cuerpo tiende a tomar la forma que presenta una energía superficial mínima compatible con las fuerzas de orientación”* (Ghyka, 1977, p. 122)

Arquitectos, pintores, escultores, músicos y creadores en general siempre han tomado ejemplos y usado referencias en las formas de la naturaleza, consiente o inconscientemente valoran la eficiencia y eficacia de las realizaciones naturales confiriéndoles incluso valores sagrados. La abstracción de las formas naturales conduce a la regularización de sus “imperfecciones” estableciendo patrones geométricos y matemáticos que al mismo tiempo de poder ser utilizados de manera practica en la recreación de nuevas estructuras, sirven de patrón y medida de lo que se acepta como bello, tanto así que se llega a afirmar en la dirección contraria que es ésta inmaterialidad en el orden de las cosas la que hace que nuestra percepción se incline hacia ellas, Stephen Skinner en Geometría Sagrada anota que

“Los griegos concebían al creador del universo en términos de verdad absoluta y no como un dogma heredado, una sabiduría recibida o una creencia religiosa. Deducían que el numero y la forma eran esenciales para el universo, y que para llegar a la realidad física la creación partía de las formas abstractas; cosas que podían ser apreciadas intelectualmente pero no asidas ni percibidas mediante los cinco sentidos. Las sutilezas del número y lo absoluto de la geometría eran parte del mundo empírico, la estructura escondida tras la materia física. La geometría y los números son sagrados por que codifican el orden que se oculta detrás de la creación. Son los instrumentos para crear el mundo físico.” (Skinner, 2007, p. 15)

El arquitecto y geómetra Manuel Hidalgo señala que las formas aceptadas por el hombre pueden tener rasgos que las identifican y encontrar ese equilibrio geométrico ideal es el que permite que las formas permanezcan; sostiene que ese equilibrio y esos patrones han sido desarrollados por la naturaleza y en ella se pueden encontrar con una pequeña diferencia *“la naturaleza no tiene objetivos ni plazos, es un continuo juego investigativo ó de ensayo y establecimiento”* por el contrario para la creación de nuevas formas *“el hombre siempre tiene el tiempo limitado, objetivos y finalidades, esta interesado, por tanto hay o puede haber impurezas en sus procesos”* (Hidalgo Herrera, p. 8)

Finalmente se podría decir que en la libertad absoluta que goza la naturaleza para la creación de las formas *“usa ciertos patrones universales, círculos, círculos concéntricos, espirales, cruz, cuadrantes, radiaciones y ondulaciones entre otras”* (Vanden Broeck, 2000) y con ellos ha generado el equilibrio necesario para la permanencia en el tiempo y la morfología podrá ser una ciencia *“cuando establezca patrones formales expresados en formulas y estos expliquen la preferencia de ciertas formas”* (Wentworth, 2003, p. 19)

La abstracción de las formas naturales por medio de la geometría ha permitido introducir las matemáticas a las ciencias naturales y con ello generar descripciones, encontrar patrones, establecer semejanzas, interpolar y extrapolar en lo microscópico y lo macroscópico y ha permitido también encontrar explicaciones razonables de ciertos fenómenos, del mismo modo la geometría y las matemáticas en las artes han dotado a los creadores de un instrumento para dominar la realidad visual; en relación a la abstracción de las formas María Luisa Hodgson afirma que *“El pensamiento del artista, del filósofo y del científico es en gran parte abstracto. Pues bien, esa capacidad de abstraer ha hecho que el hombre cree un objeto abstracto; como instrumento del pensamiento será útil para dominar, entender, conocer y representar, de la realidad visual, lo físico y lo sensible: La Geometría tiene esa naturaleza.”* (Hodgson, 1994, p. 21)

Todo tiende a re diseñarse, todo exige estar dotado de forma y ella está asociada a las condiciones de uso, de los materiales y de los procesos de fabricación. Se reutilizan los materiales y se reciclan los productos y debemos adaptar este modelo a la generación de las formas; por ello hay un nuevo y creciente interés por el dominio de la forma, dominio consiente, medible, controlable y reproducible.

3.3 La forma en el desarrollo de productos.

Restricciones y posibilidades tecnológicas.

Beauty is fitness expressed
(La belleza es aptitud expresada)
El placer estético se manifiesta
por medio de la perfecta adaptación
*de un objeto a su razón de ser*¹⁰
(Ghyka, 1977)

Comúnmente se refiere a la forma como aquellas cualidades perceptibles de los objetos, sus límites físicos o la configuración que contrasta con el medio en el cual se encuentra, la forma representa para algunos la utilidad del objeto, para otros una manifestación estética de la materia o los materiales transformados por el hombre o las máquinas, para otros la manifestación de un sentido, de una idea o de un concepto, para todos la manifestación de la materia con un mensaje para ser leído, interpretado y que posiblemente conduzca a una acción.

Para los creadores de formas, sea cual sea su oficio, ésta es en síntesis la expresión de un deseo que transforma la materia en soluciones a necesidades concretas, en todos los objetos subyace la intención del creador de responder efectivamente a los propósitos que lo han impulsado a encausar esta transformación y satisfacer de diferentes maneras, una y otra vez la misma necesidad.

No en vano artesanos y creadores a fuerza de dominar los materiales y repetir innumerables veces el ejercicio creador de formas apropiadas, han aportado al desarrollo material del entorno humano y con ello dotado de objetos tan eficientes en su uso como bellos en la contemplación, sea por la eficacia y eficiencia en su uso, por las relaciones de proporción o por su expresión, que resultan atractivos y deseables.

El ser humano al tener conciencia y verse obligado a razonar, dada su debilidad biológica, intenta a través de la técnica, y ya no desde el instinto animal, a transformar su

¹⁰ Esta definición de belleza aportada por Sir Walter Armstrong, director de la Galería Nacional de Dublín, Ghyka la describe diciendo que, “el sentimiento de la perfecta adaptación de un objeto o un animal a su razón de ser, sugerido por su forma a nuestro subconsciente, es lo que causa el placer estético que procura su contemplación”.

entorno y adaptarse, construyendo medios y elementos que le permitan sobrevivir y hacer más cómodo su devenir en el medio natural. Este impulso creador ha derivado en la generación de un entorno construido por el hombre cada vez más complejo e inundado no solo de aquellos que le permitían sobrevivir aprovechando los recursos de la naturaleza, sino de un sinnúmero de objetos y artefactos que solo son útiles en este nuevo entorno construido, dando lugar a un universo objetual, que adicionalmente regenera constantemente por su aparente necesidad vital de cambio y transformación.

Ahora bien este universo objetual que parece rico e interminable en sus manifestaciones formales, por la infinita posibilidad de combinar materiales, estructuras, dimensiones y acabados, esta sometido a principios físicos derivados de la misma composición de los materiales y las fuerzas de la naturaleza, de las posibilidades técnicas de transformación por medios manuales, mecánicos o químicos y finalmente de las cualidades o respuestas esperadas en su comportamiento durante el uso.

En cuanto a la regularidad de la forma se han estructurado muchos estudios que dan orden a su descripción y construcción, desde la geometría plana y del espacio, con Platón, Arquímedes, Euclides y otros grandes pensadores y creadores, hasta la Fractalidad y el Caos con Mandelbrot y Poincare, y con ello se ha estructurado tanto la creación como la posibilidad de construcción de objetos y artefactos.

Todos los objetos, con evidencia en las primeras herramientas como réplica de elementos naturales, han tenido y tomado como referencia la naturaleza; la simulación y el refinamiento de elementos naturales que permiten resolver necesidades humanas, dieron origen a las formas de los objetos, ya que estaban íntimamente ligadas a su funcionalidad y reunían las cualidades formales y estructurales necesarias para la función establecida; de ahí que buena parte de la regulación de las formas tiene como punto de partida la observación cuidadosa de los cristales, las plantas, los animales, las constelaciones y todos los fenómenos naturales.

Este ejercicio primario de simulación, que por demás no se ha abandonado por que aun se siguen descubriendo formas, estructuras y fenómenos, ha evolucionado significativamente y ha conducido a toda una infraestructura productiva que genera objetos y artefactos de diversos niveles de complejidad que inundan renovando cada cierto tiempo y cumpliendo ciclos algunas veces preestablecidos, el entorno construido por el hombre, pero que sigue atada a los mismos principios físicos y las fuerzas de la naturaleza que cada vez

comprendemos un poco más, y especialmente a las posibilidades técnicas que la ciencia y la tecnología han puesto a disposición brindando nuevas posibilidades.

Para hacer un seguimiento a la forma de los objetos desde su concepción y creación hasta la factibilidad de ser producidas y reproducidas se hace necesario analizar en principio su relación básica con los referentes naturales, para luego relacionarlas con los medios y las técnicas que permiten su reproducción.

Es una preocupación permanente de los diseñadores trabajar sobre las relaciones mediadas por la tecnología, entre la forma y la reproducción ya que éstas relaciones son parte de la creación de la forma, como restricciones en la mayoría de los casos y eventualmente como puntos de partida o posibilidades para la morfogeneración.

3.4 Morfogénesis: Origen de la forma

Si bien podemos crear en la mente e incluso representar por el dibujo y otros medios, formas y estructuras, la primera consideración en la determinación de la forma de un objeto útil tendrá necesariamente que ser la materia con la que se hará una realidad sensible y por ello consecuentemente tendremos que pensar en las cualidades y propiedades de dicha materia; será necesario tener en cuenta que la materia misma tiene una forma definida por sus compuestos moleculares y son ellos con sus uniones y enlazamientos los que harán posible una forma general macroscópica, hay que recordar que la materia es un conjunto de propiedades controladas que se manifiestan de formas específicas, ello lo podemos evidenciar en la infinidad de formas que adopta en la naturaleza.

En la naturaleza la dualidad forma - función no rivaliza, una no sigue la otra, ni se oponen, sencillamente coexisten y evolucionan conjuntamente y se optimizan buscando la supervivencia por la selección natural, en cuanto a los objetos se deben a una selección cultural que ha venido siendo desarrollada por el hombre a partir de su experiencia de sobrevivencia en el entorno primero natural y más adelante construido.

La forma es resultado de la materia y la materia tiene forma por si misma, aun cuando la materia puede existir sin forma en su más elemental composición, la unión de los átomos generan ciertas características y manifestaciones formales. La materia tiene la potencialidad de generar todas las formas posibles, por tanto las cualidades y características de la materia son transferidas al objeto y afectan su forma final.

Desde esta perspectiva, con el descubrimiento de nuevos materiales, nuevas propiedades y el desarrollo tanto de nuevos materiales como de materiales compuestos se podría decir que *“el material con el que están hechos los productos se nos aparece así cada vez más indefinible en categorías simples y adquiridas de una vez por todas. El único modo de describirlo consiste en considerarlo como un operador dotado de prestaciones: esto es, hablar del material no definiendo que es, sino explicando lo que hace”* (Manzini, La materia de la invención. Materiales y proyectos, 1993, p. 29), lo que hace evidente la manifestación microscópica en lo macroscópico, en el objeto y la transferencia de sus propiedades. El investigador Andrés Valencia define la configuración global macroscópica *“como aquella que permite la observación y el análisis de la forma en un Todo, ya sea una forma monolítica o una forma compuesta por varios subsistemas”* (Patiño & Arbeláez, 2009, p. 29)

Se hace necesario asumir categorías formales que sirvan de marco de referencia para poder comprender y construir las formas, Patiño y Arbeláez proponen, *la forma en la naturaleza, la forma geométrica y la forma en la construcción humana*” (Patiño & Arbeláez, 2009, p. 33), estableciendo así, para la forma en la construcción humana un referente universal apenas descubierto en sus primeras capas y que día a día sorprende y entusiasma con sus realizaciones, una abstracción racional y exacta que permite la medición, reproducción y comunicación, y un resultado aplicado como conjunción de la apropiación de las dos anteriores.

El desarrollo de los objetos y artefactos sufre por medio de la prueba y el error un refinamiento que los acerca a su condición ideal de acuerdo a unas exigencias determinadas, sean de uso, de contexto o de interacción, sin embargo estas exigencias también cambian por otros factores como los técnicos, de materiales y procesos e incluso por aquella necesidad natural de cambio y renovación que experimenta el ser humano, de tal forma que los objetos se transforman lentamente en un proceso evolutivo en el transcurso de su vida útil.

Estas transformaciones impulsadas por cualquiera de las condiciones antes mencionadas afecta de manera directa su configuración y por ende la percepción general del objeto, la forma que percibimos de él cambia y notamos los cambios definiéndolo como un objeto nuevo incluso cuando los cambios sean sutiles.

Ahora bien, sean estos cambios sobre objetos existentes o la forma de nuevos objetos, las configuraciones son el resultado de una combinación de aspectos diversos,

sean estos, unos de aspectos estrictamente técnico funcionales, otros de interacción y comunicación y seguramente otros de orden productivo, con lo cual todos tienen origen en un orden formal estético que se apoya en la geometría, en las formas previas y reconocidas y en las formas de los elementos con los cuales tendrá que interactuar.

Para crear las formas, comunicarlas, trabajar sobre ellas, transfórmalas e interactuar con sus posibilidades técnicas y productivas se requiere un lenguaje claro, fácil de interpretar, preciso, repetible y variado, y es así como un lenguaje común apoyado en la percepción el que ha desarrollado el arte en sus diversas manifestaciones, la pintura, la escultura, la arquitectura y la música, han sido medios universales al alcance de todos independientemente del lugar y el momento, por que apoyan sus manifestaciones en cualidades perceptibles igualmente universales, sin depender de las lenguas escritas.

La permanente preocupación de los artistas y diseñadores por la creación de formas que expresen y comuniquen lo que piensan y sean útiles desde la perspectiva del uso es una constante que por siempre permanecerá en su trabajo, sin embargo para ello han tenido distintos medios para resolverlo y la abstracción ha sido la base unificadora de ese lenguaje y el rigor de la geometría y la matemática lo ha hecho medible comparable y repetible.

La geometría y las matemáticas han sido considerados como lenguajes universales y las formas pueden ser representadas por medio de ellas, sin embargo este lenguaje no tendría aplicación útil si no existiese una necesidad de comunicación o una necesidad sobre la cual no actué un intermediario físico en su solución, es entonces cuando el concepto que procura ese mensaje se materializa en formas que a su vez toman cuerpo en objetos y artefactos.

Los referentes formales primigenios necesariamente han sido los elementos naturales y la abstracción de sus formas la que ha permitido las primeras herramientas, sin embargo esta referencia biológica no ha sido agotada y hay en ella una gran cantidad de estructuras que apenas hasta ahora podemos identificar y esto es algo que desde mucho tiempo atrás nos han hecho notar estudiosos de las ciencias naturales, ingenieros y artistas.

Ghycka desarrollaba la comparación de la evolución de las especies en sus características de adaptación con los objetos desarrollados por el hombre, dotando a sus creaciones en cada versión con características que las hacían propicios a condiciones particulares o para nuevos contextos y necesidades.

El desarrollo de los medios informáticos que permiten acelerar los procesos matemáticos y el cálculo de superficies han evolucionado significativamente en dirección a la simulación de las formas naturales, así la abstracción geométrica de las formas naturales que se representaba con cierta sencillez se acerca ahora a la complejidad de la naturaleza; las superficies y trayectorias de las formas calculadas y representadas por Puntos de Control, Curvas Bezier y proyecciones fractales parecen cerrar un bucle en la complejidad de la forma, *“la nueva técnica y la nueva ciencia ofrecen la posibilidad de producir formas que parecen volver a una imagen natural. El caso más emblemático son los objetos fractales de Benoit Mandelbrot”* (Manzini, La materia de la invención. Materiales y proyectos, 1993, p. 28) y estos más allá de ser la posibilidad de un objeto físico o modelos de la capacidad de cálculo, representan modelos para la creación de las formas, haciendo posible la reproducción de algunas que hasta ahora técnicamente se consideraban inalcanzables.

3.4.1 Construcción de la forma en diseño

Una forma en diseño supone responder a varios asuntos teleológicos, ya sea desde la filosofía práctica o desde el mecanicismo, que en ambos casos se pueden señalar bajo preguntas como: quién la crea?, a quién va dirigida?, qué debe comunicar?, qué se percibe de ella?, de qué está hecha?, cómo se construye? y para qué sirve?. Aquí no hay contradicción u oposición entre la materia y la conciencia, no se relativiza en el espacio – tiempo, ni en el campo gravitatorio; en el diseño se retroalimentan y se complementan estas respuestas, los diseñadores están más cerca de la mecánica clásica y la ingeniería, que de la filosofía y la relatividad, y estas mismas preguntas suelen ser las que se anteponen a la creación de una forma cualquiera que sea su propósito.

El distanciamiento entre la materia, el conocimiento y los medios de transformación que llevo a la artesanía a disociarse de la producción, ha completado un bucle y parece presionar al diseñador futuro, sino más que al de hoy, a re aprender de la producción y los materiales; esto no es algo nuevo, solo que cada vez se hace más apremiante en la medida que o bien se les exige como parte de su trabajo o de lo contrario y como ya sucede que otros profesionales empiezan a ocupar este espacio en los sistemas productivos imperantes.

Para los diseñadores la determinación de la forma responde además a otros factores más específicos, como son los problemas estructurales, funcionales, de uso, tecnológicos, ergonómicos y productivos; con ello se evidencia que a través de la forma el diseño concreta y concentra su quehacer como disciplina, y en ella, la materia logra la expresión funcional que se le demanda como producto.

En cuanto a los materiales dos caminos se presentan en esta situación, uno la adopción de materiales no provistos por la naturaleza, es decir aquellos que con una alta inversión de energía y por ende desgaste de los recursos, ofrecen propiedades extraordinarias con las cuales nos hemos acostumbrado a desarrollar los productos que inundan el entorno construido; bien señala Benyus al decir que *“nuestro progreso colectivo ha venido marcado por los tipos de materiales que hemos usado: la edad de piedra, la edad del bronce, la edad del hierro, la edad del plástico y ahora dirían algunos, la edad del silicio”* (Benyus J. M., 2012, p. 126) alejándonos más profundamente de los materiales que nos ofrece la naturaleza y el conocimiento que de ellos se desprende.

Y un segundo camino en donde se descifran los materiales con los que la naturaleza ha modelado por millones de años sus productos, con propiedades y características siempre amigables con el entorno, con bajos requerimientos de energía y sin arrojar subproductos nocivos, que el hombre en los cientos de años de desarrollo tecnológico no han podido reproducir; ya que la naturaleza debe *“fabricar sus materiales en condiciones compatibles con la vida: en medio acuoso y a temperatura ambiente, sin compuesto químicos corrosivos ni presiones elevadas”* (Benyus J. M., 2012, p. 127); y de ello nos encontramos aun muy lejos, sin embargo para los dos caminos el diseño de debe aplicar la sentencia de que la “forma coexiste y evoluciona con la materia”.

Dentro del discurso del diseño se establecen parámetros y categorías, tanto para describir como para agrupar y construir las formas, en cierto modo estos son las bases del lenguaje que son las formas mismas, para el logro de diversas expresiones; esto supone que la forma, es esa “parte” del objeto que soporta la significación y determina las relaciones Hombre – Objeto – Contexto y que según Sánchez Valencia (2001) *pueden ser comprendidos bajo los parámetros Morfológico, Morfo estático, Morfo métrico, Morfo genético, y Morfo signico* (Sánchez Valencia, 2001, p. 9)

En el orden que describe Valencia (2001), desde lo Morfológico en la medida que estudia la generación y las propiedades de la forma, aclarando que esto es solo aplicable al ámbito industrial en donde se aplican ciertas leyes morfo generativas, que la establecen como un orden y una estructura legible a partir de los elementos, las relaciones, las jerarquías, los ordenes y los propósitos; desde lo morfo estático en la medida que representa valores intemporales bajo unas tensiones y “posturas” permanentes de los elementos que la componen; desde lo morfo métrico desde dos perspectivas, una en la medida que condiciona la percepción de acuerdo a una manifestación única y dos, que por

ello mismo es cuantificable y medible en sus partes y su totalidad; desde lo morfo genético dado que se puede reconocer su origen en la creación y concepción del objeto y finalmente desde lo morfo sónico ya que se considera portadora de un mensaje.

Otros argumentos que definen una forma pueden estar vinculados con aspectos como la función y la funcionalidad del producto, el tipo de material en cual esta construido, los procesos de manufactura utilizados en el proceso, el nivel tecnológico que adopta el producto, ciertos rasgos culturales del público objetivo, los sistemas políticos imperantes en el entorno de desarrollo y uso del producto, el segmento de usuarios al cual esta destinado y el estilo que se adopta como característico o de marca, entre otros.

Del mismo modo como lo expone Ghyka, la génesis formal y el desarrollo de la forma podrían describirse como la evolución de los principios formales, que por medio de transformaciones adaptan en unos casos y desechan en otros, aquellos valores que se corresponden al tiempo y lugar, así el significado de la forma permanece pero migra de un estado a otro evolucionando.

De otra parte la morfología en los productos de diseño considera la construcción controlada de la forma y la coherencia formal como argumentos básicos en la determinación de sus cualidades, entendiendo la coherencia formal como la síntesis formal en donde se reconoce un producto como una unidad, como un todo y no como la suma de piezas y partes de formas diversas (coherencia intraformal), del mismo modo que se podría reconocer también esa coherencia formal entre familias de productos, de una misma marca por ejemplo (coherencia interformal). Tal coherencia formal se hace evidente cuando están presentes conceptos como ritmo, proporción, equilibrio, unidad y continuidad; como señala Bonsiepe (1978) esta coherencia formal se apoya en el uso y la repetición de geometrías iguales o similares, como también en los materiales y los acabados superficiales, más allá del color, la textura y las dimensiones.

Si se analiza la coherencia formal instalada en la geometría con semejanzas, repeticiones y simetrías, debe permitir crear claramente una configuración, debe hacer evidente las relaciones de semejanza y especialmente debe determinar una posición preferencial de los elementos que permiten su percepción como unidad; es interesante la asociación que hace Bonsiepe (1978) refiriendo estas características del mismo modo que la iconicidad visual con seis categorías; Isomorfía, cuando el objeto esta compuesto por partes de igual tamaño y forma reflejados por un mismo eje, Homeomorfía, cuando el objeto esta compuesto por partes de igual forma pero de diferentes tamaños, Singenomorfía, cuando el

objeto parte de deformaciones de una misma forma base, Catamorfía, cuando el objeto esta compuesto por partes diferentes pero conservan características o detalles comunes, Heteromorfía, cuando el objeto esta compuesto por partes que no tienen relación formal pero comparten criterios que argumentan su configuración y amorfía, cuando el objeto esta compuesto por partes que no comparten ni argumentos ni formas, que son solo producto del azar.

Por otra parte las dimensiones denotativas y connotativas determinan las cualidades percibidas de un objeto, la denotación como la relación entre el concepto, la forma y los referentes y la connotación como los significados contextuales distintivos dentro de un territorio. Pero son particularmente los accidentes de la forma los que establecen la estructura geométrica de objeto y es ésta la que se relaciona y determina junto con los procesos de producción o las tecnologías de reproducción. En cuanto a la caracterización de las etapas de desarrollo de los accidentes y esta conjugación de aspectos denotativos y connotativos Sánchez Valencia lo explica e ilustra de la siguiente manera:

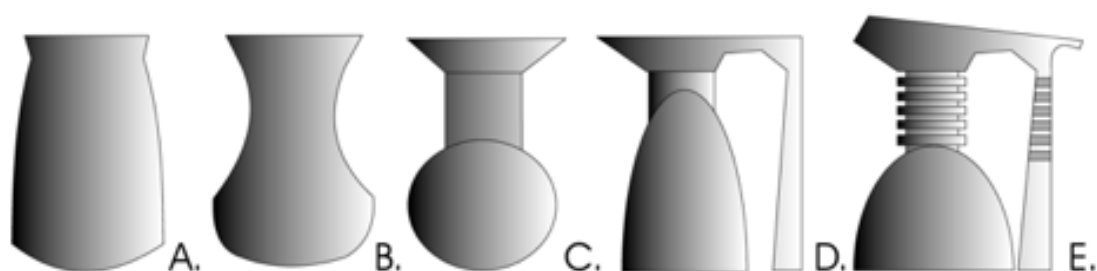


Figura 1 Evolución de los accidentes de la forma y su transformación geométrica.

En el primer caso (A), de izquierda a derecha, se observa un contenedor cuya calidad (forma) es un solo accidente (se identifica un solo componente), siendo un mensaje ambiguo (función contener). En la segunda (B), la forma se contrae y expande en ciertos lugares, intentando accidentarse (pero sigue siendo un accidente) y adquiere un significado funcional nuevo (sujeción). En la tercera (C) se perciben tres accidentes, que especifican tres significados funcionales (contención, sujeción y vertido) y una connotación, así la forma comienza a especificarse (en sus accidentes) para configurar un mensaje determinado (supongamos que el último E es el mensaje tetera digital de oficina), entonces podríamos leer también un mensaje denotativo (contener) en la primera (A) y una tendencia connotativa hacia la derecha (supongamos: vasija de agua B, chocolatera tradicional C, termo de aromáticas D y tetera digital de oficina E) (Sánchez Valencia, 2001, p. 72).

Al mismo tiempo los accidentes pueden tener ciertas tipologías, que Sanchez Valencia propone como: Focales, cuando la forma posee un accidente dominante y a los demás quedan subordinados a éste; polar, cuando la pregnancia esta constituida por los accidentes en varias formas y elementos dentro del objeto; independientes, cuando actúan independientemente dentro del objeto; dependientes cuando requieren de los otros accidentes para ser comprendidos y usados y de enlace cuando sirven de unión entre accidentes de otro tipo.

Sin entrar en dichas categorías, se puede afirmar que los accidentes están constituidos por aristas que limitan, dividen o establecen cambios de dirección sobre las superficies y las superficies propiamente dichas con diferentes cualidades; tanto unas como otras determinan la percepción del objeto y generan el contraste con el entorno produciendo la configuración percibida del conjunto. Las superficies y sus transiciones que pueden estar marcadas por aristas o no, son en ultima instancia la síntesis tanto del proceso proyectual como del proceso de diseño y por ello su tratamiento se hace cada vez más riguroso y detallado haciendo uso de herramientas como los sistemas CAD y los modeladores paramétricos.

La representación de las superficies como tal en su homogeneidad, más allá de los acabados superficiales o aquellos dados por las cualidades del material, no representan dificultad alguna, ya que su continuidad y su regularidad geométrica no desafían los modeladores por polígonos o incluso por redes de puntos; ahora bien son las superficies de transición y la continuidad geométrica de dichas superficies las que demandan un esfuerzo importante tanto en su definición en el modelado tridimensional como su adecuación para ser reproducidos industrialmente. Las transiciones entre superficies rectas, curvas, cóncavas, convexas, continuas, progresivas y otras, que responden a características funcionales y perceptuales del objeto deben ser desarrolladas y analizadas por medio de herramientas digitales para su adecuado desarrollo y producción.

Los sistemas CAD usan una escala progresiva de continuidad que involucra posición, tangencia y curvatura y ofrecen herramientas como el Análisis de Cebra que permite leer sobre la superficie los tipos de continuidad; estos grados de continuidad son:

Continuidad de grado 0: Posición. Formas continuas pero con quiebres.

Continuidad de grado 1: Tangencia. Tiene continuidad de posición y también las uniones de tangencia coinciden aunque hay discontinuidad en la curvatura.

Continuidad de grado 2: Curvatura. Son tangentes y además la curvatura en la unión es la misma.

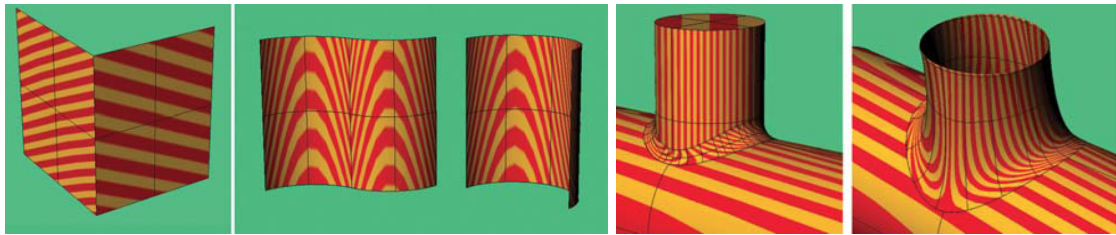


Figura 2 Análisis de Cebra en la continuidad de superficies.

(Muñoz & López, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires, 2013, p. 2)

La continuidad de las superficies y su geometría esta estrechamente ligada a la continuidad morfológica y *“en el diseño de productos encontramos distintos grados de continuidad que no necesariamente siguen esta idea de incremento de continuidad. Lo que en el diseño de productos se percibe como discontinuo, en la mayoría de los casos es geoméricamente continuo”* (Muñoz & López, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires, 2013, p. 3), para explicar esto Muñoz y López (2010) plantean cuatro modos distintos en que las superficies asumen distintas complejidades, como intersección de formas, como unión de superficies simples, como movimientos complejos de una generatriz y como transformaciones de puntos de control en mallas.

Por otra parte la mayor o menor continuidad morfológica puede responder a factores distintos a los visuales y tener un impacto importante en la resistencia estructural de un objeto o los costos y velocidad en la producción, por tanto el control de esta continuidad es un factor determinante en el diseño del producto, lo cual se puede verificar especialmente en la inyección y moldeo de plásticos y metales de piezas sueltas o acopladas. Igualmente se puede dotar a una superficie de diferentes características de acuerdo a la funcionalidad (zonas de agarre, apoyo o estructurales) haciendo un uso preciso de la continuidad superficial y las herramientas de digitalización.

En resumen la materia, las formas de producción, los detalles de la continuidad superficial y las intensiones de diseño, son a grandes rasgos los determinantes de la forma en diseño y solo el balance adecuado de ellos, permitirá responder a la demanda y satisfacer a un mercado cambiante, ávido de innovación y cada vez más exigente. Por lo cual los diseñadores desde sus dominios de conocimiento deben afianzar el proceso de determinación de la forma como síntesis de su ejercicio.

3.4.2 La forma en los productos

Dos aspectos concurren en la determinación de la forma en los productos, de una parte el aspecto estético que soporta toda la comunicación del producto y de otra el aspecto funcional - operativo que soporta tanto la ingeniería para la producción como la técnica operativa del producto. En esta dualidad el diseñador gestiona sus propuestas para hacerlas tanto atractivas como posibles y funcionales.

Progresivamente se ha pasado de los dibujos y bocetos a las maquetas y el modelado; del modelado paramétrico de las piezas al prototipado rápido (RP) y finalmente a la manufactura digital. Sin embargo este camino no lo hace el diseñador autónomamente, sino que requiere del apoyo tanto de herramientas especializadas como de profesionales de otras áreas que hacen posible que esta determinación formal se convierta en un producto terminado. Este acompañamiento ha visto reducido y condicionado el ejercicio del diseño en la medida que las formas sin una verdadera posibilidad de realización (producción y reproducción) quedan en un vacío de utilidad, más allá de las capacidades y habilidades desarrolladas en la formación de los diseñadores en el manejo de herramientas informáticas para el modelado tridimensional y que se aproximen al modelado paramétrico, son muchos los aspectos sobre los cuales el diseñador aun no toma conciencia y dominio.

Ya lo mencionaba Ulrich y Eppinger (1995), pareciera que los esfuerzos en la determinación de la forma por parte de los diseñadores aun distan del diseño de ingeniería, sin embargo existe el interés y el trabajo por parte, tanto de diseñadores como de ingenieros, en acercar estos saberes y lenguajes para hacer más productivo, fluido y eficaz el trabajo colaborativo.

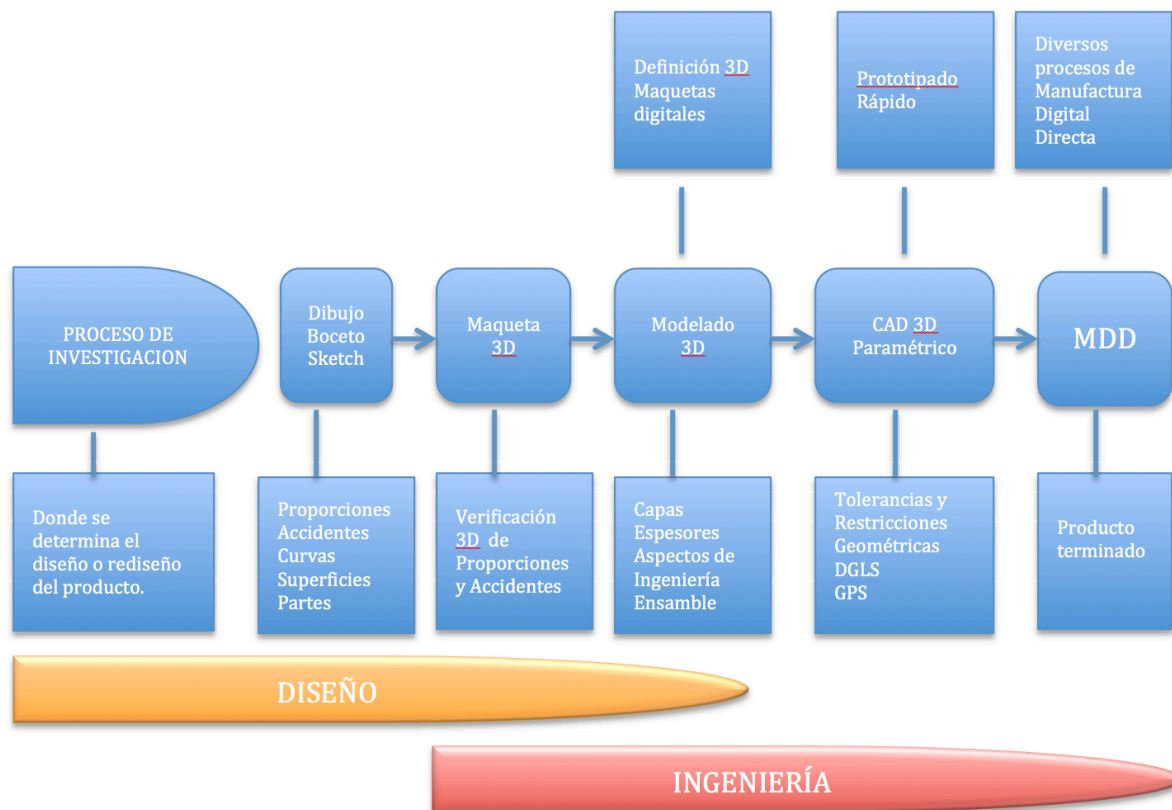


Figura 3 Esquema de proceso de diseño en la determinación de la forma y el uso de herramientas desde el diseño y la ingeniería.

Dentro de los esfuerzos conjuntos entre diseñadores e ingenieros se encuentra, primero el reconocimiento de estas diferencias y la clarificación de las competencias correspondientes a las diferentes disciplinas y segundo la determinación de parámetros básicos en donde se sitúan por ejemplo las normas ISO; con ello se dan los primeros pasos para conciliar lenguajes y saberes que permiten la producción de piezas y partes en diversos lugares que igualmente pueden ser ensambladas en diferentes lugares, que aprovechan recursos estratégicamente.

Tanto las restricciones geométricas como las tolerancias geométricas y dimensionales en ingeniería dieron lugar a las Especificaciones Geométricas de Producto que se sintetizan en la norma ISO 14253-1:2013, esta norma establece las condiciones de conformidad o no conformidad con una tolerancia específica para una pieza o una población de piezas y los errores máximos permitidos en los equipos de medida. Esta norma proporciona claridad a las condiciones para las mediciones y tolerancias de piezas únicas y a las mediciones y tolerancias en poblaciones de piezas, al mismo tiempo que permite tomar decisiones frente a la conformidad o no conformidad cuando una pieza esta dentro de las tolerancias permitidas.

Como suele ser las normas ISO se complementan y especifican en sus apartados en otras normas, sean éstas específicas o generales para tener siempre un cuerpo de referencia en los diferentes aspectos; para las especificaciones geométricas de producto se desarrollo la norma ISO /TR 14638:1995 (Master Plan) y la ISO 8015:2011 que de manera general establece los fundamentos, conceptos y reglas principales de las GPS (Geometrical product specifications) en la creación, interpretación y ampliación de las demás normas asociadas y aplica a la interpretación de las GPS a todo tipo de dibujos, aclarando que se entiende como dibujo toda la documentación que especifica la pieza de trabajo (a lo que hay que añadir al menos otras 20 normas y sus revisiones y ampliaciones). De todo ello se identifica la preocupación por establecer parámetros que permitan la creación de la formas al menos en sus características dimensionales y geométricas para ser reproducidas con tolerancias aceptables para su ensamble y operatividad como producto.

Paralelamente a las normas asociadas a las GPS otras iniciativas se han desarrollado relacionando profundamente el diseño en cuanto a la geometría del producto, el uso y aplicación de nuevas tecnologías de producción y el conocimiento necesario para su adecuado aprovechamiento, entre ellas una metodología integrada de diseño de producto para la estética, las funciones y la geometría apoyado en el modelo de gestión de restricciones, de Fujita, Nakayama y Akagi (1999) y el modelo de Directrices de Diseño (Design Guide Lines DGLs) de Cristofolini, Filipini y Bandera (2007) que permite cerrar la brecha entre el diseñador y el operador de Prototipado Rápido.

El diseño de producto exige la optimización de las competencias del diseñador dada la rápida evolución de las tecnologías de producción y las exigencias de los mercados, lo cual puede ser difícil de gestionar por el diseñador. Dentro de este contexto se desarrollaron las DGLs, que son un sistema basado en el conocimiento para el diseño industrial con el propósito de ayudar al diseñador a configurar el producto de manera que sea posible producir por medio de Manufactura Digital Directa MDD o Manufactura Rápida RM¹¹, teniendo en cuenta las Especificaciones Geométricas de Producto GPS y considerando la verificación de las mediciones y la fabricación, como pasos dentro del diseño del producto apegados a los conceptos expresados en ISO- GPS

Las DGLs pretenden coordinar dos fases subsecuentes en el proceso de desarrollo de productos, asumiendo que *“la fase de diseño por lo general comienza con la definición de*

¹¹ Entendida como aquella manufactura que pasa directamente los archivos digitales a los sistemas de control digital de la producción. Esta tecnología ofrece a las empresas la capacidad de desarrollar prototipos y planificar y personalizar el proceso de producción de principio a fin, en un entorno totalmente digital.

la forma (en términos de componentes , conexiones, configuración y restricciones) y los materiales que mejor pueden cumplir con las funciones”, y como consecuencia de ello “las tecnologías de producción, procedimientos de montaje y verificación, distribución y fases de reciclaje deben ser definidas de la manera más eficaz y de bajo costo posible” (Filippi, Cristofolini, & Bandera, 2007, p. 2), siendo en este punto donde cobra relevancia el conocimiento de la Manufactura Rápida RM ya que es justo el paso intermedio entre el modelado CAD y el proceso de producción y donde la implementación de las DGLs se hacen necesarias.

Las posibilidades de modificar el diseño CAD, lo que denominan Cristofolini, Filipini y Bandera el Re-diseño, ajustándolo a las condiciones de RM y por ende a la producción, es el punto clave en el proceso y ello mejora en todos los aspectos los resultados por tanto debe ser el diseñador y no el operador del RM quien haga los ajustes del diseño pero para lo cual los diseñadores deben tener el conocimiento necesario en RM; es claro que las guías del diseño 3D CAD hasta ahora no las contemplan por lo cual son insuficientes para el uso, seguimiento, organización y aplicación de normas, además tampoco lo hacen para el seguimiento de las modificaciones. De allí que se consideren necesarios los DGLs estén implicados en todo el proceso de diseño. La pretensión en la evolución de las DGLs es llegar a que sea el diseñador quien este a cargo del diseño orientado al RM desde la fase inicial.

Actores

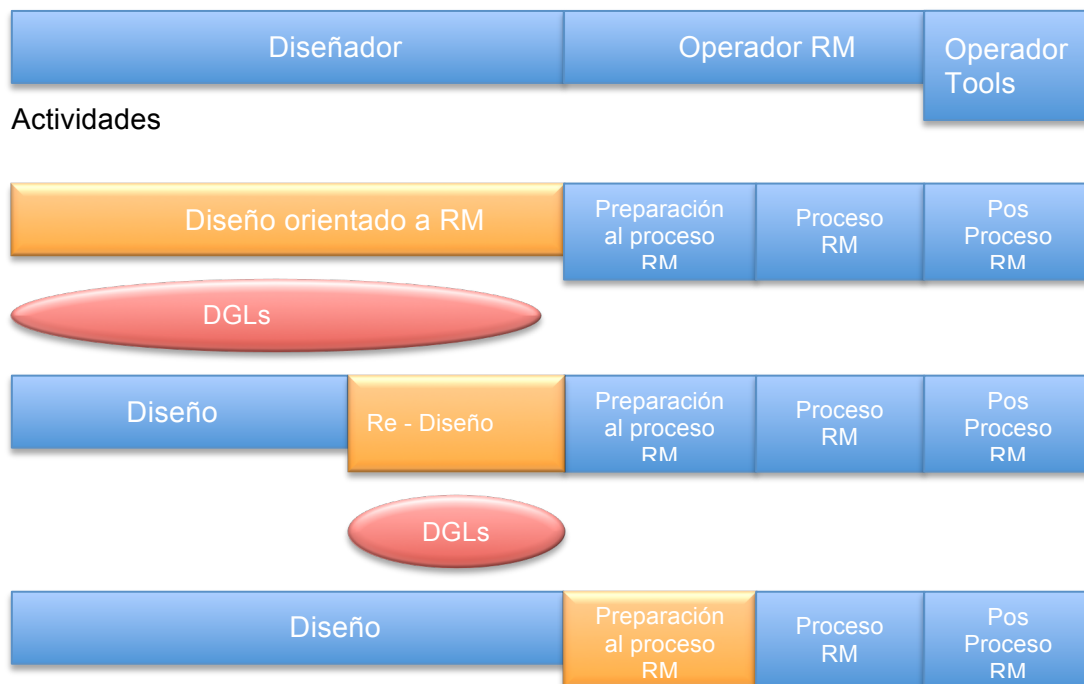


Figura 4 Diferentes escenarios de uso DGLs:

Esta figura muestra la inserción de las DGLs en el proceso de diseño y compara el estado actual y el estado deseado, en donde el diseñador es quien se encarga de operarlas dentro del proceso de diseño y no como etapas aisladas o encargadas a otros operadores. *De abajo hacia arriba: a) Actualmente, no se actúa sobre las DGLS, las modificaciones son llevadas a cabo por el operador de RP. b) Propuesto, la fase de rediseño es impulsada por los DGLS; c) En el futuro, el diseño incorpora el impulso de las DGLS.* (Filippi, Cristofolini, & Bandera, 2007, p. 3)

En la misma dirección y orden de ideas Fujita, Nakayama y Akagi, consideran que existe un aislamiento entre la práctica del diseño de productos por medio de sistemas CAD y el desarrollo estético de las formas, esto debido a las diferencias del contexto geométrico en el que se desarrolla cada una, para ello proponen que los resultados del diseño industrial (estética – forma) alimenten directamente los sistemas CAD de producción, pero al mismo tiempo afirman que el diseño de ingeniería debe estar dentro de los límites de la estética.

Siendo la estética un valor muy importante en el mercado, ya que la competencia basada en la función podría considerarse en muchos casos superada, es necesario que se integren la estética y las funciones, a través de la geometría especialmente, entre otras herramientas. Si bien las técnicas de modelado geométrico se han desarrollado ampliamente, la actividad del diseño debe depender de los modos de representación y operación; así como en el proceso de diseño se definen las características estéticas del producto, por medio de bocetos, maquetas o sistemas de modelado por ordenador, estos últimos deben estar soportados por técnicas de modelado geométrico basados en características y restricciones, de tal modo que la distancia entre el modelo mental del diseño se aproxime al modelo técnico (geométrico y matemático) de la ingeniería.

Características estéticas = Diseño  Geometría paramétrica = Restricciones.

Cuando los diseñadores modelan las formas por medio de líneas características, superficies y ratios de desviación, se aproximan a las características de fabricación, y este acercamiento solo es posible si se definen características de geometría paramétrica desde el diseño.

La metodología propuesta por Fujita, Nakayama y Akagi recoge características estéticas a partir de las formas de diseño (bocetación y modelado) y las convierte en plantillas en los sistemas CAD, de tal modo que, aspectos estructurales, de límites dimensionales, de capas, de acomodación de partes, de facilidad de montaje y otros

muchos, se convierten en límites y restricciones del diseño y por ello deben ser considerados en la determinación de la estética, así los sistemas CAD con plantillas que tengan en cuenta estos aspectos permitirán armonizar la estética con la ingeniería a través de la geometría.

En esta metodología se propone llegar a eliminar la etapa de bocetos y modelado físico tridimensional para entrar a trabajar directamente en el sistema CAD bajo las plantillas correspondientes creadas para el producto como tal, utilizando la función de gestión de restricciones sobre la función de geometría paramétrica, donde las relaciones geométricas involucradas en la forma se establecen como restricciones y así reflejar las intenciones del diseñador en la forma final del producto, *“facilitando el compromiso entre la estética y las funciones, sobre la geometría”* (Fujita, Nakayama, & Akagi, 1999, p. 1755)

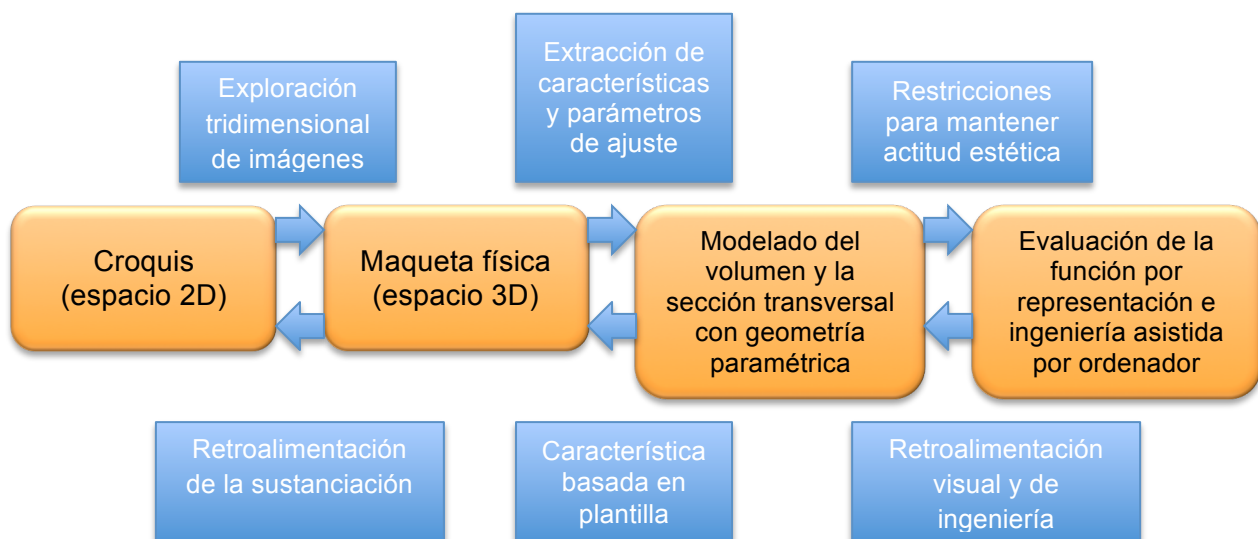


Figura 5 Proceso de diseño con soportes informáticos.

(Fujita, Nakayama, & Akagi, 1999, p. 1755) Traducción propia.

3.4.3 Representación 3D de productos, superficies, volúmenes, detalles y transiciones.

Los objetos de información con los que se determina la forma en los medios digitales son mucho más que dibujos y representaciones, en ellos están contenidos los conceptos que soportan la identidad del producto y otros aspectos que adquieren forma perceptual para complementar su percepción. Ahora bien, toda representación intenta dar cuenta de la imagen mental que se construye a partir del conocimiento y la experiencia, mediados por la

manera específica que cada sociedad y cultura afronta la relación con la realidad; sin embargo el resultado manifiesto por los sistemas CAD condiciona poniendo límites geométrico – matemáticos a la forma, eliminando las interpretaciones y permitiendo su conexión con los sistemas de producción CAM.

Esto ha significado que este objeto de información sea un medio que expresa la voluntad del diseñador, que puede ser sometido por medio de diversas herramientas de análisis a las condiciones de uso previstas en el entorno material, es decir que estas imágenes que no tienen una existencia física pueden ser sometidas a estas condiciones y probadas con el propósito de ser reproducidas materialmente con eficacia.

El valor de los sistemas 3D radica esencialmente en la posibilidad de hacer manifiesto este proceso de creación y determinación de la forma, revelando su estructura geométrica, matemática y física en relación a los fenómenos y eventos naturales, superando el aspecto fantástico de la representación y posibilitando una mayor comprensión, enseñanza y aprendizaje, así *“lo inteligible adopta formas sensibles para aprehenderse”* (López Coronel & Muñoz, 2014, p. 17)

La estética y la funcionalidad de un objeto se establece por medio de la forma y ello se considera la propiedad más importante tratada por el diseño industrial, para ello los diseñadores aunque siguen usando trazos en el dibujo y por medio de las modificaciones y el refinamiento logran las formas adecuadas con las intenciones geométricas y limitaciones funcionales, éstas deben tener la precisión suficiente para evitar la construcción de varios modelos, evitando costos y pérdida de tiempo, por ello se hace imprescindible ahora el uso de sistemas CAD 3D. La definición de la forma se da a través de las curvas, especialmente aquellas líneas que definen los contornos y las secciones críticas, aquellas que dan una imagen única y hacen distinguible y único al objeto, estas líneas principales reciben el nombre de *“líneas de carácter”*. (Pernot, Guillet, & Léon, 2010)

El trazado de las líneas de carácter en los sistemas 3D ha usado hasta ahora diversos sistemas de control que permiten transformarlas hasta que exista una correspondencia con los trazos del boceto inicial, lo cual ha significado un esfuerzo muy grande por parte de los desarrolladores del software, del mismo modo el trazado de superficies controladas en su deformación exigen además ciertos conocimientos y experiencia por parte del diseñador. Ahora bien esta enorme facilidad para trazar líneas y superficies supone colocar limitaciones funcionales y productivas, de tal modo que se logren

generar los modelos 3D con la mayor aproximación a los bocetos y estética original pero con las restricciones funcionales y productivas requeridas.

El trazado de líneas y superficies en los sistemas 3D ha tenido un desarrollo que combina la facilidad de construcción y plasticidad con otros dos aspectos fundamentales como son, el calculo matemático que permite el control, la reproducción y la precisión, y la capacidad de procesamiento de los ordenadores que permite el manejo de grandes cantidades de datos que son necesarios en la construcción de superficies complejas.

Los algoritmos desarrollados por Paul DeCasteljau¹² (1930 -) para trazar curvas polinomiales de manera eficiente utilizando puntos de control, dio inicio a toda una nueva forma de crear y especialmente de reproducir líneas y más tarde superficies con precisión; la interpolación de polinomios de bajo grado que evitan las oscilaciones indeseadas, ha facilitado el ajuste de las curvas a formas complejas y ha dado origen a las denominadas **splines** (curva diferenciable definida en porciones mediante polinomios) y de ellas se desprenden las **B-splines** (basis splines, línea polinómica suave básica), termino dado por Isaac Jacob Schoenberg a aquellas funciones spline que requieren de un mínimo soporte con respecto al grado, suavidad y partición del dominio; es decir aquellas funciones más simples y básicas para la determinación más precisa de una línea.

Del trabajo paralelo de Paul DeCasteljau y Pierre Étienne Bézier¹³ (1910-1999) surgen los Nurbs (B-splines racionales no uniformes, acrónimo inglés de *non-uniform rational B-spline*) que es el modelo matemático más utilizado en la computación grafica; las líneas y superficies Nurbs pueden ser reproducidas (copiadas o creadas) con los parámetros de una porción de ella y ser representados en espacios cartesianos de dos o tres dimensiones. Entre las propiedades más importantes de las curvas y superficies Nurbs, tenemos que:

- *“Son invariantes bajo transformaciones afines, así como de perspectiva: operaciones de rotación y traslación se pueden emplear en las curvas y superficies NURBS aplicándolas a sus puntos de control.*

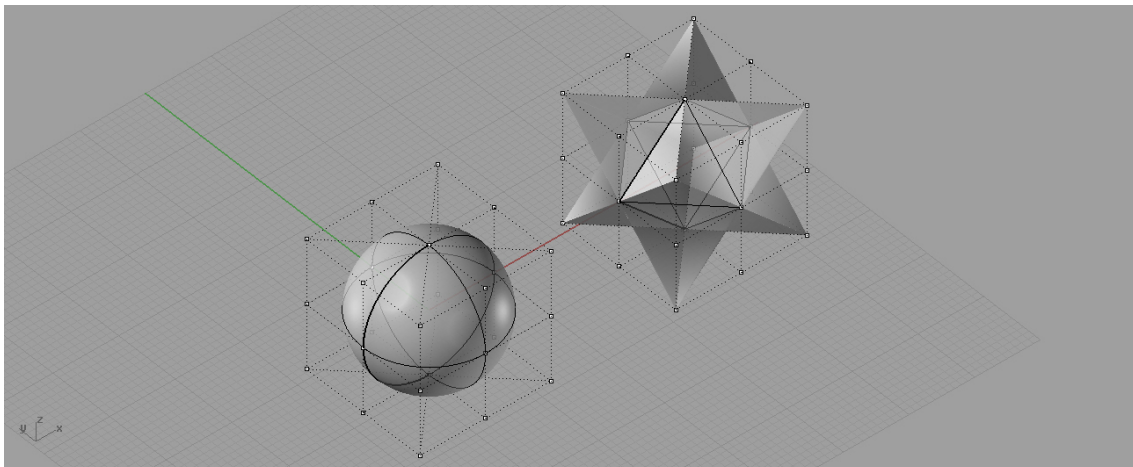
¹² Paul de Casteljau nacido en 1930 en Besançon, Francia. Físico y matemático desarrolló un algoritmo para evaluar los cálculos sobre una cierta familia de curvas, que más tarde se formalizó y popularizó por el ingeniero Pierre Bézier dichas curvas se llaman curva de De Casteljau o curvas Bézier. El algoritmo de De Casteljau se utiliza ampliamente, con algunas modificaciones, ya que es el método más robusto y estable numéricamente para evaluar polinomios. El algoritmo de De Casteljau sigue siendo muy rápido para subdividir una curva De Casteljau o curva Bézier en dos segmentos de curva en un lugar paramétrico arbitrario.

¹³ Pierre Étienne Bézier nacido en 1910 en París, Francia. Fallecido en Bures-sur-Yvette, Francia. ingeniero mecánico de la École nationale supérieure d'arts et métiers en 1930. Ingeniero eléctrico de la École supérieure d'électricité y se doctora en Matemáticas por la Universidad de París en 1977.

- Ofrecen una estructura matemática común para figuras analíticas estándar (por ejemplo, cónicas) y figuras de forma libre.
- Proporcionan flexibilidad para diseñar una gran variedad de figuras.
- Reducen el consumo de memoria al almacenar figuras (en comparación con métodos más sencillos).
- Pueden ser evaluados rápidamente por algoritmos numéricamente estables y precisos.”
(Piegl & Tiller, 1997, p. 117)

Un aspecto relevante en las curvas y superficies Nurbs es el uso de los valores o pesos de los Puntos de control (PC's) con los cuales se controla la trayectoria definida de las mismas, dando la posibilidad de manejar cada segmento manteniendo las características del resto de la curva o la superficie; con ello además de permitir la manipulación detallada de cada segmento sin modificar la geometría global de la figura, permite generar detalles y transiciones precisas y continuas.

Manuel Hidalgo Herrera (1938 -) doctor en arquitectura y geómetra afirma que los PC's son una especie de *ADN formal* de cada forma, ya que cada operación (cambio de peso) aplicada a cualquier PC cambia la forma, por tanto es una nueva, es distinta; pero lo significativo de ellos es el control sobre la determinación de las formas, geométricamente impecables, exactos, repetibles y justificables. Hidalgo en sus innumerables artículos, tutoriales y reflexiones constructivas, muestra y enseña las transiciones de las formas en los espacios bidimensional y tridimensional a través de los PC's y cómo desde la simplicidad de los PC's se pueden lograr superficies y volúmenes complejos perfectamente controlados.



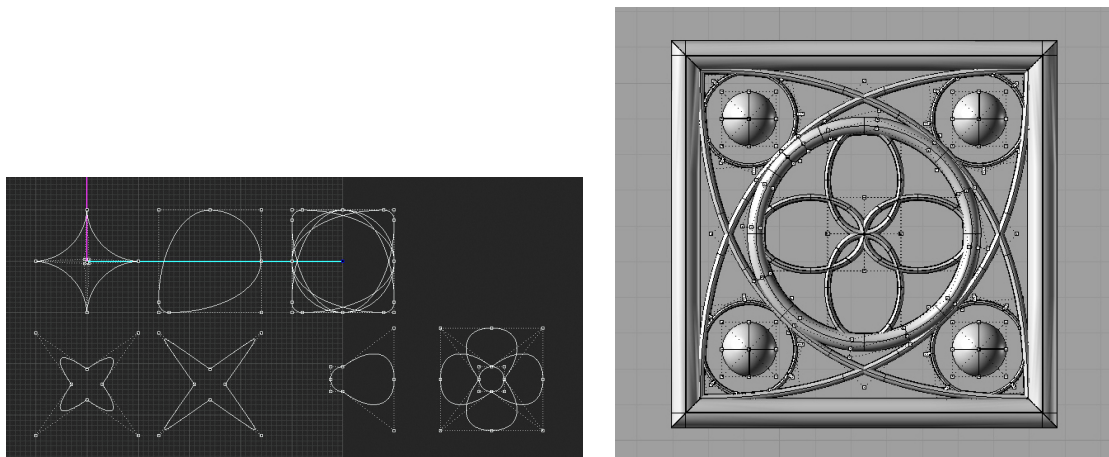


Figura 6 Transformaciones por puntos de control.

En la imagen superior una estrella Octangula a partir de la manipulación de los pesos de los PC's de una esfera. Abajo, deformaciones de un cuadrado y un círculo y una organización "volumetrada" de ellos, desde sus PC's.¹⁴

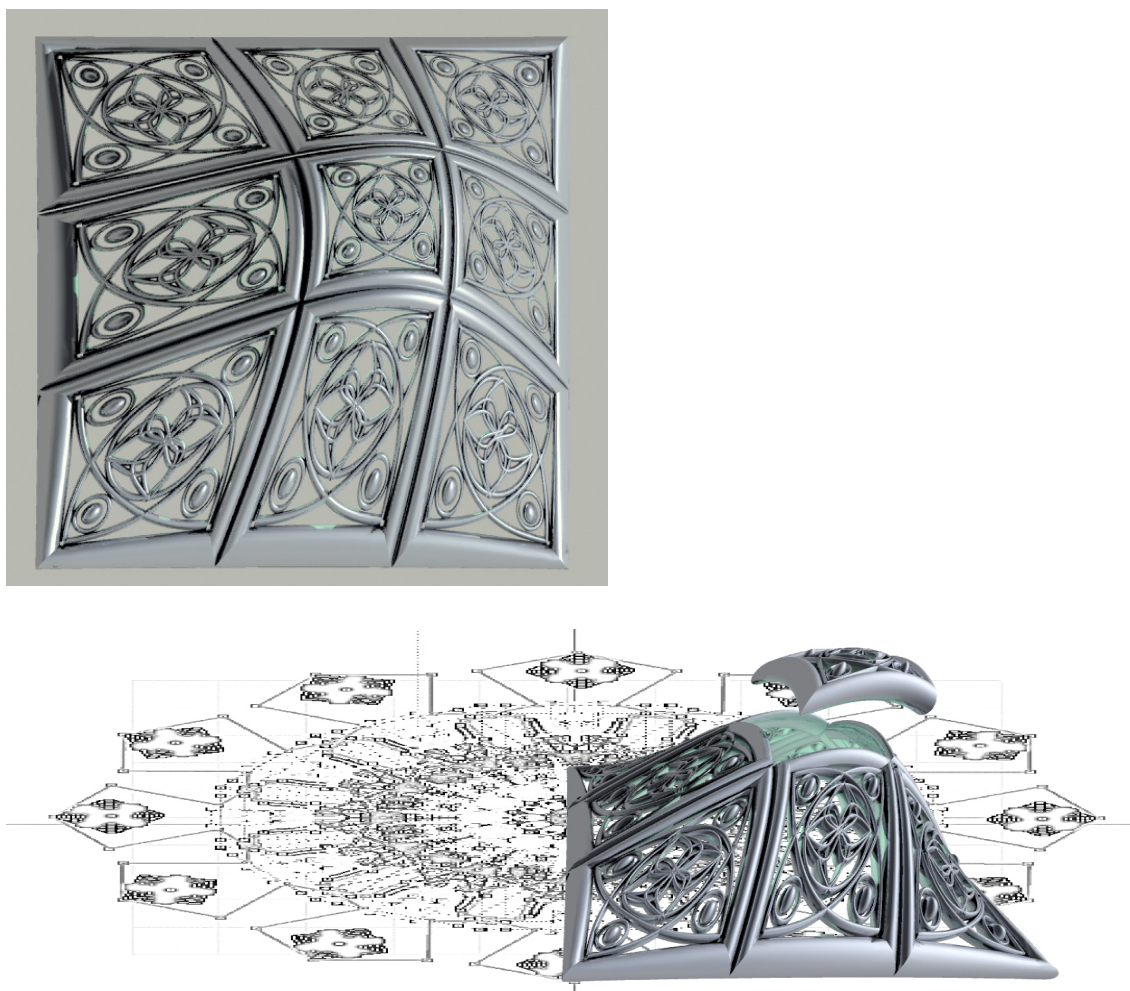


Figura 7 Deformación global de un conjunto a partir de los PC's.¹⁵

¹⁴ Imágenes del documento inédito del Dr. Manuel Hidalgo "se hace camino al andar". Cortesía del autor. Páginas 2, 4 y 5 respectivamente.

3.5 Arte generativo y morfogénesis

Los movimientos creativos de la vanguardia histórica¹⁶ del siglo XX buscaban la supremacía de la lógica compositiva, apoyada en la experiencia innovadora de otras ciencias que aun no habían abordado el estudio desde la *Complejidad*¹⁷, desencadenando en el determinismo, con un enfoque categórico y objetivo que solo admite la relación necesidad – singularidad sin elección formal; actitud que se extendió rápidamente y que finalmente excluía el entorno.

Es claro que la relación biunívoca de la forma y la función es una expresión reduccionista apoyada en una presunción injustificable de única correspondencia, en la medida que la variedad de las formas es posible y deseable, en relación a los individuos, el entorno, el tiempo y la realidad cambiante. Tal como más adelante se asumió dicha relación desde la teoría de la Complejidad dentro de los sistemas ricamente organizados que conforman la realidad.

Ya el movimiento moderno apoyado en la pluralidad de las formas propuesta por el cubismo, presentaba universos paralelos posibles en una temporalidad simultánea, lo que hoy se consideraría en las posibles transformaciones de la forma, el control lógico formal y la morfogénesis. Todo ello potenciado por la experiencia tecnológica y el estudio de la complejidad que permitieron a la arquitectura y el diseño acercarse a la investigación teórica y experimental con un enfoque compositivo de Complejidad.

¹⁵ Imágenes del documento inédito del Dr. Manuel Hidalgo “se hace camino al andar”. Cortesía del autor. Pagina 8

¹⁶ Vanguardia histórica, Vanguardismo o Avant-garde, refiere a los movimientos de las primeras décadas del siglo XX que abogaban por la libertad de expresión y se manifestaban alterando la estructura de las obras, desordenando los parámetros creativos y empujando los límites de lo considerado aceptado (status quo), rompiendo con la simetría, las líneas, las formas y los colores neutros. Centrados en la obra misma, como un todo, como un universo único auto contenido.

¹⁷ La teoría de la complejidad como nuevo punto de vista de la realidad, integral y dinámico, se apoya en los procesos causales y los comportamientos no deterministas, que ofrecen una visión integral del mundo. Teoría que permitiría abordar la multiplicidad de percepciones de un mismo objeto, la variedad en la unidad formal y especialmente la integración sistemática de las formas en la morfogeneración.



Figura 8 *Guernica de Pablo Picasso, 1937. Universos paralelos.*

Como ejemplo, en el *Guernica* se hace evidente la transfiguración en tiempos y espacios. La existencia de un mismo evento-figura desde perspectivas diferentes. La forma de un elemento antes, durante y después, aquí y allí simultáneamente.

Hay quienes defienden dentro del debate del desarrollo de la forma que ésta se debe a la necesidad (que justifica cada una de las elecciones) y sus funciones, y se hace intercambiable a condiciones similares o es adaptable según los requerimientos, permaneciendo con nostalgia en modos establecidos y probados de la coherencia metodológica y composicional, de relativa eficiencia, sin embargo este modo de proceder no atiende al desarrollo científico ni a la misma evolución ontológica de las disciplinas creativas.

En 1965 se denominó por primera vez el trabajo de Georg Nees como *Generativo*, en la exposición de Arte de Computadora, *Generative Computergraphik*, en Stuttgart, Alemania y más adelante junto con Frieder Nake describen su trabajo producido a partir de un programa informático como generativo. En 1968 Manfred Mohr usa la expresión *Arte Generativo* para describir los dibujos realizados por medio de un programa de ordenador, aunque de otra parte Jack Burnham denominaba estas nuevas obras de arte como *post-minimalistas*, lo cual deja entrever diversas aproximaciones que tomaban el nombre de arte de proceso, arte electrónico, arte de computadora y otros, lo cual provocaba incertidumbre entre los artistas y el público frente a estas nuevas producciones.

Desde finales de los años 80 Celestino Soddu y Enrica Colabella trabajan alrededor del *Arte Generativo*, en cuyo enfoque prevalece el *Meta diseño* como operador del diseño y éste corresponde al uso de controles de la Complejidad presentes en la naturaleza para aplicarlos en el mundo artificial. Resaltan que esta dinámica entre natural y artificial opera como un sistema que no se apoya en una matriz de datos, sino en un sistema de dinámicas caóticas que trabajan conjuntamente contaminándose para originar nuevos puntos de vista.

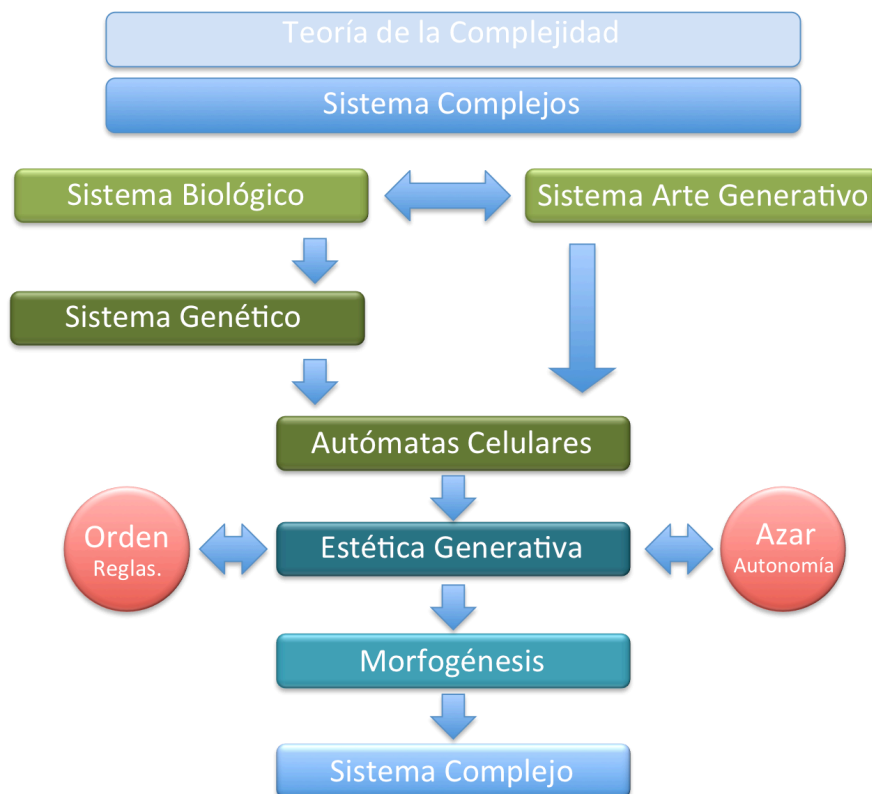


Figura 9. Gráfica del arte generativo y la morfogénesis como analogía entre los sistemas complejos Natural y Artificial.

En la grafica, donde el orden y el azar dominan la morfo generación y permiten la unidad y la variedad apoyado en dos aspectos fundamentales: Autonomía y Reglas.

Para Galanter (2003) el *sistema* como enfoque generativo es primordial en la medida que el artista le cede parcial o totalmente el control una vez desarrollado y éste es necesario para la autopoiesis¹⁸; permitiendo dividir los sistemas en ordenados, desordenados y complejos en donde para todos el control y la autonomía determinan sus resultados.

Un sistema se comprende como un conjunto de entidades que operan bajo unas normas inherentes y que se relacionan con el entorno por medio de sus limites (sistema – limites – entorno) y un sistema en el arte generativo será entonces, según Galanter (2003) un conjunto de componentes que forman patrones bajo mezclas de orden y azar en función de la norma y la autonomía.

Para Shin y Yoon (2014) los extremos de orden y azar en el margen de la Complejidad representan de un lado la geometría generativa euclidiana y del otro el ruido generado por el azar y solo en medio con la mezcla de orden y azar se logra la mayor

¹⁸ Entendida como un sistema capaz de reproducirse y mantenerse por si mismo.

Complejidad y toman como ejemplo el movimiento browniano, ya que éste tiene memoria en cada afectación del azar y la siguiente actuación se desarrolla con base en la anterior, otorgando así criterios de orden y azar que derivan en reglas y autonomía; permitiendo *“clasificar los sistemas en el arte generativo dependiendo de la influencia de una regla y la autonomía”* (Shin & Yoon, 2014, p. 192)

La relación de los sistemas biológicos y el sistema de arte generativo se encuentra justamente en la cualidad de Sistema y su Complejidad, en donde el sistema esta compuesto por pequeños componentes que interactúan entre si provocando la auto organización y adaptación a un medio dinámico. Y esta es justamente la expresión del medio biológico que a medida que crece aparecen atributos en los organismos, de tal modo que cada molécula o célula actúa con base a una regla pero condicionada a la interacción con las otras estableciendo su propia evolución permitiendo la unidad y al mismo tiempo la diversidad de la vida.

Los autómatas celulares reflejan este comportamiento y por ello *“ofrecen un paradigma para los sistemas complejos basados en la interacción local de las células y el procesamiento iterativo de configuraciones posteriores”* (Shin & Yoon, 2014, p. 193) y por esta razón *“el arte generativo se basa en programas de ordenador que están estrechamente relacionados con la maximización del valor estético producido por la combinación optima de la unidad y la variedad”* (Shin & Yoon, 2014, p. 193)

El sistema genético es considerado en la posición más alta en la grafica de la Complejidad según Gary William Flake (1998) y se desarrolla en un punto de transición entre el orden y el azar. Unidad y diversidad no son excluyentes, como es claro en la naturaleza. La incertidumbre de un origen (o su variabilidad) junto con una mutación programada (parámetro dentro del algoritmo) explicaría el valor estético del arte generativo.

En *“los proyectos de Estética generativa”*, Max Bense señaló que *“la estética generativa implica una combinación de todas las operaciones, reglas y teoremas que pueden ser utilizados para crear estados estéticos”* (Reichardt & Bense, 1971, p. 58).

El sistema de la estética generativa apunta a una descripción numérica y operativa de las características de las estructuras estéticas que puede ser realizado en una gran cantidad de elementos materiales. Estructuras estéticas que contienen información estética sólo en la medida en que se manifiestan las innovaciones. El objetivo de la estética generativa se basa en la producción artificial de probabilidades, que difiere de la norma

mediante teoremas y programas. Está conectado con el objetivo de evolución que tiene la intención de obtener las posibilidades de innovación, *asegurando la diversidad dentro de la unidad*. (Shin & Yoon, 2014, p. 194)

La complejidad no es un atributo estático sino una muestra de la evolución dinámica dentro de un sistema que relaciona el proyecto con el objeto y el medio ambiente, y no se produce espontáneamente sino a través de un continuo proceso de acumulación, progresión, devolución y selección. Del mismo modo esta evolución para el diseño, tendrá que experimentar diversos caminos y transiciones desde regímenes y lógicas previstas que permiten aprender tanto de la acumulación de eventos como de la capacidad de auto organización del sistema frente a los cambios.

La incertidumbre generada por la mutaciones crea complejidad biológica de acuerdo con la certeza de la redundancia y al mismo tiempo produce desviación e innovación, del mismo modo el arte generativo se apoya en la producción artificial de probabilidades de innovación por medio de los procesos de transformación bajo parámetros algorítmicos. *“Por consiguiente, la estética genética puede presentar la dirección estética definitiva en la que el arte generativo apunta”*. (Shin & Yoon, 2014, p. 189) El arte generativo estaría dominado por dos aspectos, la autonomía y las reglas.

Es posible mantener la calidad de un proyecto utilizando herramientas de control sobre un crecimiento y evolución dinámica es decir sobre la Complejidad, sin perder el control de las decisiones conduciendo este desarrollo a referencias imaginarias o absolutamente desconocidas en donde aparece como aceptable y hasta deseable, lo contingente, aleatorio y subjetivo.

Por diseño, en otras palabras, que es trabajar en el código genético de la forma, en su DNA formal (Objeto arquitectónico, urbano o industrial) en el conocimiento de que la intercambiabilidad de individuos / forma dentro de cada especie, y la temporalidad del proceso simulado, no quitan nada de calidad al entorno compositivo diseñado. Tales cualidades vivirán y responderán a las solicitudes del hombre, también impredecible, a través de su adaptabilidad, de lo que surge el no-equilibrio, el control de la mismas dinámicas evolutivas subyacentes del entorno en el que vivimos. (Colabella & Soddu, 2014, p. 31)

Es necesario que los diseñadores acepten desprenderse de la determinación de la forma a través de matrices formales – funcionales lógicas y predecibles, que la pretendida

universalidad y adaptabilidad limita y restringe el crecimiento disciplinar, generando uniformidad en un entorno diverso, cambiante y en permanente transformación como es el entorno humano y natural. Del mismo modo como es necesario aceptar la complejidad en el desarrollo de la forma que permite el crecimiento de los proyectos con una estructuración nueva y variable, que permite incluir requerimientos impredecibles y subjetivos, y que permite repuestas adecuadas a las circunstancias de tiempo y lugar dentro de un proceso evolutivo.

La coherencia e intercambiabilidad significan que las formas contienen en sus diferentes manifestaciones como “especie” respuestas a la necesidad de la que surgen y un margen de las mismas para contenerla, lo que nos conduce a los elementos esenciales en el diseño que son la forma y el proceso de determinación de la forma, la morfogénesis.

La morfogénesis puede ser considerada por consiguiente, como: Dar respuesta a las demandas prácticas presentes, futuras e impredecibles, culturales, de imagen y otras, por medio del diseño de un evento - especie o código genético y no por medio de un evento formal único y categórico. Donde cada especie tiene eventos intercambiables elegibles dentro de una lógica de control de lo contingente y lo aleatorio, hasta que se hace una elección.

La evolución de las especies no oculta o reemplaza el ambiente ni homologa la imagen del entorno o el ideal de referencia, sino que aumenta el potencial endógeno en una relación dinámica.

3.5.1 Coherencia e intercambio de formas posibles.

Cuando nos enfrentamos a una elección de diseño específico, cuando producimos una forma en respuesta a una petición, nos damos cuenta, con una mezcla de horror vacío y exaltación creativa, que se puede optar indistintamente de una forma u otra. La pregunta que nos hacemos es: ¿si se debe a una inconsistencia, una falta de claridad en el curso del proyecto o, por el contrario, indica que la formas son la hipótesis, entre ellas, intercambiables? O más bien, que el desarrollo del proyecto puede continuar de maneras diferentes pero intercambiables?
(Colabella & Soddu, 2014, p. 28)

Si se acepta el intercambio de una forma por otra esto puede significar que se ha identificado una matriz del diseño, tal como existen respuestas paralelas de diferentes diseñadores. En el proceso de morfogénesis cada camino, cada decisión y cada variante podrá generar respuestas distintas pero conservando los elementos reguladores, lo que podría considerarse como la variedad de respuestas; sin embargo esto también explica las posibilidades de caracterización individual dentro del proceso.

Caracterización que identifica al diseñador ya que es quien toma las decisiones, frente al objeto entre la variedad que adopta esta forma dentro de la unidad y frente al entorno que lo acoge y que favorece esta manifestación; ahora bien esta forma no sería intercambiable por otra ya que su evolución responde a una elección entre decisiones y etapas diferentes por tanto responde de maneras distintas y se manifiesta de una única forma. Sin embargo esto también significa que existe un carácter de *especie* y cierta intercambiabilidad dentro del mismo conjunto reconociéndose paralelas que nacen de rumbos distintos en las decisiones.

Lo más importante en la morfo génesis es la conciencia del proceso y la toma de decisiones, más allá de las formas *finales* de un objeto. El punto de partida de la morfogénesis tiene que ver directamente con correlacionar la especie de pertenencia de un evento/individuo con la lógica proyectual que lo ha generado, es decir relacionar elementos recurrentes de la calidad y la complejidad con los métodos y procedimientos que los han generado. Esto como homologación de la génesis natural, donde el reconocimiento comparativo del carácter individual, como parte de una especie y que pertenece a una lógica operativa dentro de su contexto.

Especies natural y artificial se define entonces por el procedimiento que genera los individuos, a partir de un código/mapa genético que gestiona el componente contingente del azar en su evolución... Estos procedimientos son, sin embargo, la representación más explícita y menos redundante de estas estructuras complejas, dado que sustituyen la descripción del proceso para la catalogación de todos los infinitos estados posibles contingentes. (Colabella & Soddu, 2014, p. 45)

La simulación del desarrollo de las formas es capaz de mostrar no solo la calidad de un evento sino la calidad del proceso, de este modo la morfogénesis se abre al conocimiento de las formas de complejidad, multilaterales e impredecibles tal como lo hace la naturaleza pero en el entorno artificial.

En la arquitectura esta simulación puede llevar a la conciencia del diseñador, no a la calidad de su trabajo sino a la de su manera de diseñar y en el campo del diseño de productos además de comprobar el enfoque de la generación de la forma y el proyecto, se tiene también la posibilidad de satisfacer la demanda de personalización.

Así los códigos genéticos artificiales, apoyados en las nuevas tecnologías de producción, permiten tener un objeto industrial único pero al mismo tiempo diferente cada vez y reconocible por su genética formal como parte de una especie.

Al diseñar la especie se puede experimentar por aproximación y encontrar el individuo que en su diversidad tiene las cualidades deseadas, es decir que en la simulación se presentan dinámicas paralelas dentro del carácter multilateral y crea individuos factibles con diversos rumbos e historias comunes; en la morfogénesis se desarrolla el diseño de la misma manera que se diseña un solo evento pero cambia el orden, aquí se diseña primero la especie y en ella se identifica a múltiples individuos de los que se pueden elegir entre ellos para cada especificación.

En el proceso morfo genético cada petición en la especificación hace crecer y evolucionar la estructura por tanto ésta también es dinámica en su uso y aumenta su calidad de respuestas tanto como en respuestas ajustadas, podría decirse que a mayor número de peticiones (requerimientos, demandas o eventualidades) mejora la estructura y se hace más productiva en variedad y posibilidades individuales.

Es importante señalar que cada solicitud básica como demanda dentro de la estructura que tiene origen en disciplinas distintas como materiales, ergonomía, economía e ingeniería entre otras, debe introducirse en términos de forma o términos de transformación lo que sería un lenguaje lógico formal. Una vez incorporadas estas solicitudes no es necesario revisar su origen lo cual permite tener bases sólidas de la matriz de referencia sobre las cuales se incorporan nuevas demandas y decisiones permitiendo la dinámica evolutiva. A partir de este punto se han traducido en formas todos los requerimientos, solicitudes y demandas desde los cuales la variedad deberá permitir la elección subjetiva de aquellas que puedan adaptarse a la utilidad y relevancia de acuerdo a la lectura del contexto tanto en un momento determinado como en la evolución del mismo.

Tal como se transcriben las limitaciones y el contexto con un lenguaje lógico formal, se construye la lógica composicional del sistema dinámico, pero con el objetivo de reconocer una identidad de especie, es decir que se activan los procedimientos morfo genéticos que

hacen crecer el proyecto en complejidad y reconocimiento de la forma y al mismo tiempo restringir la subjetividad general. En palabras de Soddu correspondería a:

1. La construcción de una estructura evolutiva capaz de responder, en el desarrollo a las necesidades conceptuales del diseñador,

2. Una dinámica de adquisición progresiva de complejidad que favorezca simultáneamente el crecimiento y capacidad adaptativa del proyecto y el progresivo cambio de la categoría subjetiva del primer gesto a una posibilidad de apreciación intersubjetiva. (Colabella & Soddu, 2014, p. 48)

De cierto modo estamos acostumbrados a la relación racional de la correspondencia y el equilibrio, entre el fenómeno y su descriptor, lo cual dificulta ver la evolución y el cambio ya sea por los límites en el tiempo, por la imperceptibilidad de las transformaciones o la falta de medios para detectarlos.

Desde la matemáticas se viene trabajando en ese registro y manejo de las transformaciones lo que permite el desarrollo de nuevas teorías y perspectivas apoyadas en los cambios. Por tanto un fenómeno natural o artificial puede estudiarse a partir de una unidad primaria o primigenia y los agentes de transformación. Para ello se usan los algoritmos lo que significa que no se parte de un equilibrio o igualdad sino que representan los cambios y variaciones del fenómeno identificando la dinámica de la evolución, por tanto se puede estudiar la evolución dinámica de las formas naturales o artificiales mientras se reconoce o se crea.

Aplicando este enfoque teórico instrumental del intercambio de las formas y su coherencia al desarrollo de objetos industriales, se tiene un gran potencial debido a las condiciones de producción y a la singularidad natural de los individuos, y sus resultados son comparables al diseño genético de un objeto o una familia de objetos propiamente dicha.

3.5.2 El diseño de la morfogénesis.

El diseño de productos a partir de la morfogénesis tiene todo el potencial necesario para responder a la generación de innumerables objetos diferentes pero con cualidades reconocibles de especie, además de ser creados específicamente para ser reproducidos por las nuevas tecnologías de producción industrial digital, de tal modo que se podría afirmar

que, *“el proyecto de serie ha cambiado a través del código genético de la especie”*. (Colabella & Soddu, 2014, p. 50)

Los proyectos de diseño de especies están en la misma línea de desarrollo en tiempo real de modelos tridimensionales, objetos virtuales, impresión 3D y Manufactura Digital Directa. Por tanto lo costos de diversificación o personalización, que anteriormente podrían ser muy altos, ahora apenas serán simples cambios de especificación en las maquinas de manufactura digital directa.

La reproducción seriada presentara de algún modo su propia evolución y ese objeto único irrepetible artístico que era imposible bajo sus parámetros ahora vuelve a ser posible y podría ser considerado como arte y el objeto de serie se convertiría en excepción. Este enfoque se corresponde con la orientación de las empresas en cuanto a la calidad total, a la respuesta a necesidades aun no expresadas y a la multiplicidad de referencias, aunque por ahora lo cubra con ideas de personalización, ediciones únicas o limitadas.

La creación de un universo ilimitado de objetos únicos que se reconocen como especie, es una posibilidad natural del diseño de la especie por morfogénesis, frente a la presión de nuevas variaciones o versiones de los objetos, de tal modo que cada proyecto es el ADN original que puede generar nuevas series de cambios constantes como la reprogramación de un modelo digital. Su evaluación será posible sobre una multiplicidad de resultados y su transformación solo a partir de su código generativo.

Para Bense (1971) la proyección de la estética generativa sobre la producción se da en razón del valor del proceso dentro de la creación y la permanente variación y transformación que se sucede a partir de elementos comunes, así los resultados estéticos de la biología se conectan con la generación estética, y el ADN actúa como una repetición y entrega de códigos genéticos bajo reglas y operaciones específicas, contenidas en una cadena de información que puede ser afectada por genes insertados, produciendo diferentes formas y por consiguiente funciones; del tal modo que *“el objetivo de la estética generativa es la producción artificial de probabilidades de la innovación o la desviación de la norma ”* (Shin & Yoon, 2014, p. 199)

3.5.3 Enfoque dinámico de la geometría en la morfo génesis.

El arte generativo es un proceso que se desarrollara inexorablemente dado el avance de las herramientas apropiadas para tal fin y la fuerza de las ideas de morfogénesis, junto con la dinámica progresista de la creación y el diseño.

El arte generativo se apoya en el espíritu creador de los artistas y en la lógica interpretativa escrita en algoritmos, en donde se pasa de formas estáticas a transformaciones dinámicas que valoran el trabajo como proceso y no como resultado, en donde se gestiona la complejidad por sistemas no lineales de múltiples resultados, en donde se puede reconocer la representación de las ideas como un proceso progresivo aun antes de los resultados y en donde las obras pueden generar diversas variaciones.

El arte generativo surge como respuesta a más de un siglo de producción en más a sin sublimar la tecnología, sino sabiendo usarla a partir de sus propias visiones, rompiendo tanto con la homogeneidad de los productos como con el diseño de autor, rescatando la belleza del proyecto y la creatividad, escribiendo algoritmos progresistas.

La perspectiva de la morfogénesis es una forma lógica de representación del espacio de validez general, que permite representar el infinito y un punto de vista al mismo tiempo, lo que significa que la complejidad del espacio puede ser estudiada por un observador bajo una lógica de interpretaciones, al igual como señala Soddu las lógicas de interpretación de Einstein y Planck son interpretaciones lógicas diferentes del universo, *“Ambas teorías son útiles y verdaderas, también si es en contraste de una con otra. Los puntos de vista son diferentes, pero el asunto es el mismo”*. (Colabella & Soddu, 2014, p. 12)

El uso de la geometría en el arte generativo esta ligado como la principal herramienta ya que es capaz de representar lógicamente las variaciones de sus transformaciones lo que hace posible su gestión, es decir que las lógicas interpretativas de las dinámicas de las variaciones sean medibles, asociadas a un punto de vista dentro de la representación de los espacios, todo ello bajo la lógica algorítmica.

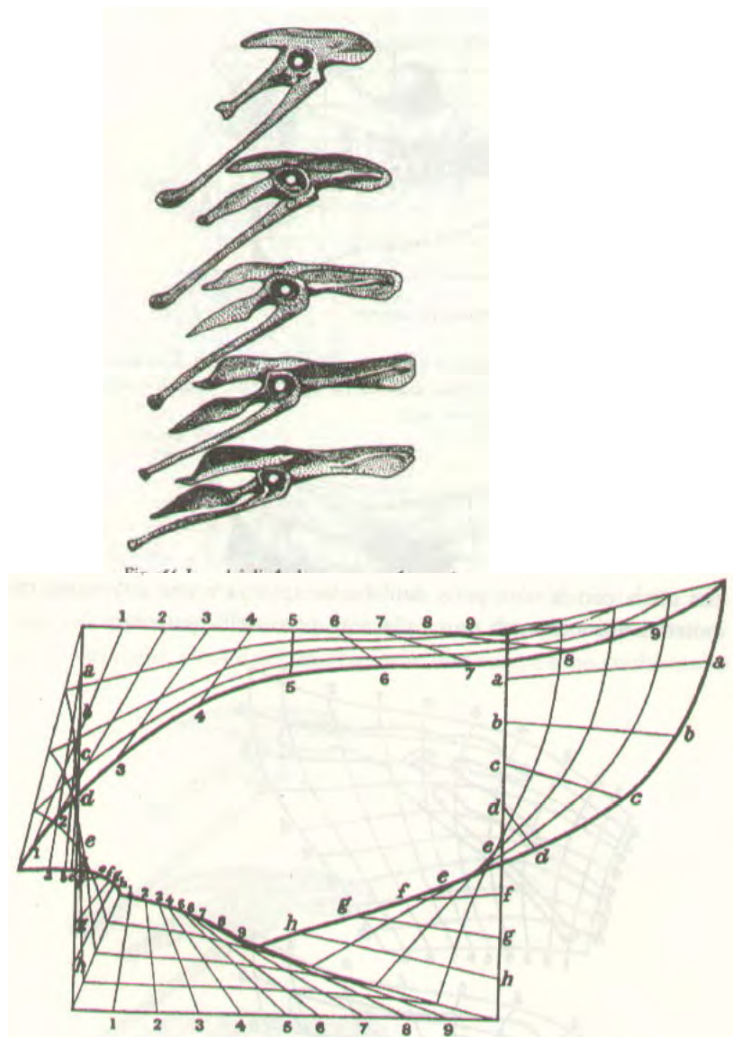


Figura 10 Representación grafica de la dinámica en la morfogénesis.

El proceso de transformación progresiva del Archaeopteryx a Apatornic siguiendo la interpretación lógica de D'Arcy W. Thompson, "El crecimiento y la forma", Cambridge Univ. Prensa, 1961 (Colabella & Soddu, 2014, p. 12)

La gestión dinámica de los eventos promueve la exploración formal y los límites de la configuración, partiendo desde eventos simples bidimensionales como rectas y curvas en progresiones lógicas cuya transformación mediada por parámetros esta controlada y mediada por el diseñador, hasta geometrías tridimensionales complejas cuya transformación progresiva muestra no solo los límites paramétricos sino la infinidad de posibilidades formales.

Las reglas de transformación son los elementos de mayor interés ya que en ellas están involucradas las limitaciones paramétricas de los diversos valores involucrados en el desarrollo de la configuración y son estas reglas las que de manera dinámica nos muestran las posibilidades y promueven la exploración por caminos desconocidos e imprevistos.

Al aumentar la complejidad de los eventos, los parámetros y las reglas de transformación multiplican exponencialmente las posibilidades generativas, pero al mismo tiempo el número de imposibilidades reales, por tanto se hace necesario un control bajo los parámetros con algoritmos que los restrinjan. La lógica más simple en el diseño generativo en tres dimensiones pueden ser los autómatas celulares, los cuales con reglas de transformación simples y coordinadas, pueden manejar altos grados de complejidad sin comprometer el control y permiten prever resultados.

De acuerdo a Colabella y Saddu (2014) el uso de parámetros al azar en los procesos generativos o la implicación descontrolada de parámetros, de una parte se acerca a la lógica de un contexto imprevisible que gestionado por reglas de transformación definidas se puede enfrentar a eventos inesperados y de otra parte convierte el proceso generativo en una búsqueda ciega que no permite identificar la visión del autor ni la objetividad del proyecto.

Se puede dar el caso de datos iniciales variables o dinámicos que con parámetros de variación establecidos produzca resultados reconocibles aunque impredecibles y únicos con lo cual el establecimiento de ellos será cuidadoso y reflejara la intensidad artística; lo cual producirá *“la interpretación lógica geométrica del imaginario de referencia”* (Colabella & Soddu, 2014, p. 13)

Las figuras geométricas generativas se deben a diferentes interpretaciones lógicas de la misma entidad, permitiendo llegar a una misma configuración por diversos caminos del algoritmo dependiendo de su propia lógica. Un cilindro puede ser la arista de otra figura que en su variación describe un círculo o una etapa del proceso de transición de un prisma a un toro o la intersección de otras dinámicas que en un paso dado lo configuran reconocible como tal. La geometría generativa se podría definir como *“la parte de la matemática que estudia la dinámica de las transformaciones espaciales y la progresión de sus figuraciones”* (Colabella & Soddu, 2014, p. 15)

La multiplicidad de interpretaciones lógicas de la geometría perspectiva generativa es lo que da riqueza a la geometría generativa dentro de la morfogénesis ya que con ella la exploración y explotación creativa crecen, así la perspectiva anamórfica, curva e invertida permiten las diversas interpretaciones lógicas de un punto de vista generado por un algoritmo que no necesariamente es único, plano o euclidiano. Estas posibilidades de algoritmos generativos son más útiles y usadas en la representación e interpretación en el arte.

3.5.4 Auto organización biológica y diseño de sistemas.

Los sistemas complejos naturales actúan y se desarrollan de manera distinta a como se ha concebido los sistemas de información y tecnologías de la comunicación, los primeros a partir de agentes elementales idénticos que reaccionan al contexto y se adaptan bajo reglas simples, actuando en multitudes y muchas veces particularmente en interacciones locales con lo cual surgen y evolucionan. Por el contrario los productos TIC (Tecnología de la información y la comunicación) se construyen a partir de componentes únicos, heterogéneos, de gran precisión y casi siempre complejos. Sin embargo parece surgir una vía intermedia que aprovecha las cualidades de unos y otros para obtener resultados nunca antes considerados, algo como TIC's controlados por Sistemas complejos o "*TIC – CS Inspirado*" (Doursat R. , 2011, p. 1)

En el campo de la ingeniería este nuevo enfoque de aprovechamiento del conocimiento de los principios naturales de organización y desarrollo que toman como modelo la genética, como las neuronas y las hormigas por ejemplo, se ha denominado "*Ingeniería morfo genética*" (Sayama, Doursat, & Michel, 2012, p. VI), cuyo propósito es hacer modelos controlables a semejanza del comportamiento natural heterogéneo y auto ensamblable.

Los sistemas de los organismos celulares se auto ensamblan en una acción sincronizada de su migración, diferenciación y proliferación de manera descentralizada, apoyada en la información genética contenida en cada célula que ha evolucionado por miles de generaciones, generando así partes, órganos y apéndices que usan patrones simples de puntos, rayas, ondas, caminos, ramas y racimos, concentradores, etc. La gran mayoría de las veces al azar. Por lo cual no poseen una arquitectura propia sino que se adaptan a las restricciones del entorno.

Ahora bien si se controlan las restricciones por medio de TIC's podemos encontrar ejemplos de ello y su parecido a los complejos sistemas naturales tales como la embriogénesis, el auto ensamblaje, la coordinación de colonias o la colaboración de enjambres. Aquí esta el punto de encuentro entre TIC's y CS, la ingeniería morfo genética esta entre lo natural y lo artificial, llevando lo natural a mayor estructura o arquitectura y lo artificial a más auto organización.

En el otro sentido también se tienen avances y es cómo el comportamiento de los TIC's se parece a movimientos y desarrollos de los CS. Los resultados actuariales de actividades por redes sociales, por identificación de concentraciones de móviles, segmentación de información en aparatos móviles, distribución de información y aplicaciones, de acuerdo a movimientos del contexto o los destinatarios.

Esto conlleva a replantear el diseño rígido a un diseño más cercano a los CS, en vez de un diseño único o directo a un meta diseño de condiciones más genéricas, auto ensamblable, auto regulable y auto adaptable. El big data empuja esta posibilidad y al mismo tiempo la permite.

En resumen, mientras que los sistemas complejos ya incluyen sistemas naturales que aparentemente muestran todos los atributos de los sistemas de TIC, este último ya se está convirtiendo en los objetos naturales de estudio para los investigadores de CS. Los dos casos y en la tendencia transversal de contorno, apuntan a un nuevo campo que debe explorar el diseño e implementar sistemas autónomos capaces de desarrollar arquitecturas funcionales complejas y deseadas con poco o ninguna planificación central. En otras palabras, son ejemplos cautivantes de auto organización programable: un concepto híbrido insuficientemente explorado hasta el momento, ya sea en CS natural para la parte programable, o en la ingeniería tradicional de las TIC para el componente de auto organización. (Doursat R. , 2011, p. 3)

La *Red genética reguladora*, es un concepto desarrollado por Doursat que refiere a la información de actuación que contiene cada célula para desplegar una función, reacción o comunicación como reacción a una entrada desde el exterior, sean otras células o el contexto. Esto ultimo conlleva a la actuación de enjambres coordinados autónomamente.

Los productos de la ingeniería tradicional que se desprenden de las especificaciones dadas por los diseñadores están hechos de componentes únicos, complejos, heterogéneos y muy precisos, al contrario de los sistemas naturales (físicos, biológicos, sociales) en donde se aprovechan agentes idénticos con dinámicas de azar gobernados por parámetros simples que se ven afectados por el entorno. Lo cual lleva a pensar que con modelos de este tipo podrían ser guiados externamente por ordenes elementales sin que ello genere una arquitectura establecida o esperada.

Los sistemas auto organizados muestran cierta arquitectura. Ya sea en la embriogénesis donde las células constituyen un órgano especializado o en los enjambres que colaboran en construcciones complejas, se evidencian fuertes propiedades morfo genéticas que se desarrollan con información genética y epigenética¹⁹ junto con respuestas a estímulos visuales, táctiles o químicos, como sucede por ejemplo en la construcción de nidos de avispas, abejas o termitas que no requieren de un plan general o la dirección externa y si llegan a ser complejos y bien organizados.

De lo anterior se desprenden varias preguntas:

¿Cómo poblaciones biológicas (de células u organismos) realizan tareas morfogenéticas de modo fiable?

¿Podemos exportar su capacidad de auto-formación a los sistemas de ingeniería?

¿Cuáles serían los principios y las mejores prácticas para crear estos sistemas morfogenéticos? (Doursat, Sayama, & Michel, 2012, p. 2)

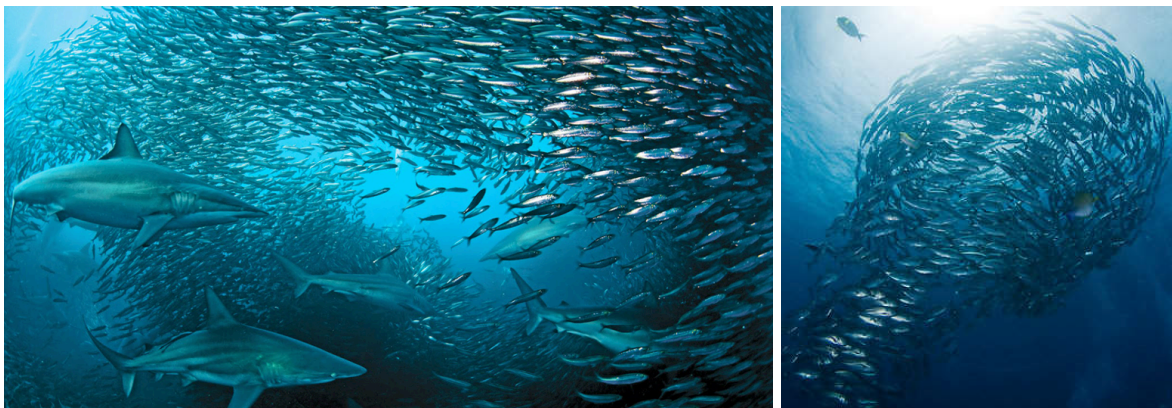


Figura 11 Configuraciones producidas por enjambres.

<http://4.bp.blogspot.com/-NzL9LNRIV8o/U6XSFC9a9EI/AAAAAAAAADME/e70JHy5aMg4/s1600/Sardine+Run.jpg>

<http://budidarma.com/wp-content/uploads/blogger/-aX9gKt8eJDE/TuS7nt00S5I/AAAAAAAAA3s/jqJOaBAYMg/s1600/shoaling-2.jpg>

Para Doursat (2012) esta auto organización se viene dando en los sistemas estructurados gracias al incremento del tamaño y la distribución de la información ya sea en el hardware o el software tanto como en las redes; del mismo modo que se ha dado en la evolución humana con el desarrollo de súper estructuras complejas auto organizadas, las “ciudades han surgido de los edificios, los atascos de los coches, Internet de los routers, los

¹⁹ O modificaciones en la expresión de genes que no obedecen a una alteración de la secuencia del ADN y que son heredables. Como son los factores ambientales, que pueden afectar a uno o varios genes con múltiples funciones.

mercados de las empresas” (Doursat, Sayama, & Michel, 2012, p. 4) y todo ello en muy poco tiempo, del mismo modo que las conexiones permanentes de los humanos con dispositivos generan un ecosistema tecno social en donde pacientes, estudiantes, profesores, productores y consumidores intercambian datos, conocimientos, aplicaciones y productos, bajo una heterarquía²⁰ de participantes proactivos.

La ingeniería morfo genética tiene como objetivo aprovechar el enorme potencial que tienen los sistemas naturales complejos de auto organizarse autónomamente sin depender de ninguna planificación central o conducción externa, investigando su diseño e implementación y proponiendo sistemas complejos programables; lo cual Doursat propone conseguir de dos formas complementarias:

1. *Dotar a los sistemas físicos con la información: A partir de la comprensión científica y la modelización de sistemas complejos naturales "al azar", tales como los patrones y los rebaños, y los "organizados", tales como la embriogénesis y los montículos de termitas, - especialmente centrándose en lo que distingue a ellos- ME tiene como objetivo generalizar la transición de una a la otra y empujar sobre ello para obtener nuevas habilidades morfogenéticas de los sistemas originales.*
2. *Incorporación de sistemas de información en la física: En la otra dirección, la tendencia de facto y cada vez mayor para los sistemas técnicos para comprender un heterarquía de numerosos componentes pequeños, como en computación paralela, enjambres robóticos, software multi-agente, o redes uno a uno, debe ser amplificada, y no combatida, llevado a nuevos niveles de complejidad programable.* (Doursat, Sayama, & Michel, 2012, p. 5)

La orientación de la ingeniería morfo genética hacia el meta diseño es la de construir las piezas de un sistema para que se auto ordene y auto configure y no construir el sistema directamente, lo cual permite que de una parte haya ciertas sorpresas de la auto construcción de modelos no imaginados y de otra parte opciones alternativas aplicables de acuerdo a diversos criterios. En este sentido el ejercicio de la ME (Ingeniería Morfo genética) es un modo de ingeniería inversa en donde se parte de determinar “¿cómo pueden micro

²⁰ La heterarquía rompe el modelo de la jerarquía. No hay poder, todos los componentes son independientes. Se cambia el concepto de ordenar, por el de influir: nadie es amo, todos pueden influir en quien quieran, pero hay libertad de pensamiento. En vez de mando se habla de relación (pues no existe el poder) y esta es bidireccional (porque es interacción) y horizontal (porque todos son iguales, no hay nadie arriba ni abajo).

La heterarquía es un sistema en el cual los integrantes no piensan en decidir sobre el otro, sino en interactuar. Esta forma de participar puede generar múltiples ideas, consejos y ayudas para que todo un grupo funcione de manera correcta. Tiene mayor libertad de acción. “Las heterarquías son redes, frecuentemente jerárquicas, interconectadas y sobrepuestas con componentes individuales que simultáneamente pertenecen y actúan en múltiples redes y con una dinámica de todo el sistema que gobierna y emerge precisamente de todo este conjunto de interacciones. Warren McCulloch (neurólogo y cibernético estadounidense. 1898-1969)

reglas de los agentes inferirse de los macro objetivos de un sistema?” (Doursat, Sayama, & Michel, 2012, p. 6) para dirigir una descentralización en donde se favorecen las condiciones de la auto organización.

El comportamiento colectivo de los sistemas complejos se debe a la interacción local de conjuntos de elementos que logran resultados a escala macroscópica y se caracterizan por una gestión auto regulada y descentralizada para el auto ensamble y que en muchos casos también es auto adaptable ya que logra “aprender” de los estímulos y condiciones externas llegando a innovar. Los elementos o componentes unitarios siguen reglas propias que se integran en las redes que a su vez pueden actuar colectivamente sobre una parte de la red o una red mayor y así sucesivamente hasta transformar el conjunto de allí que se describa como red de redes.

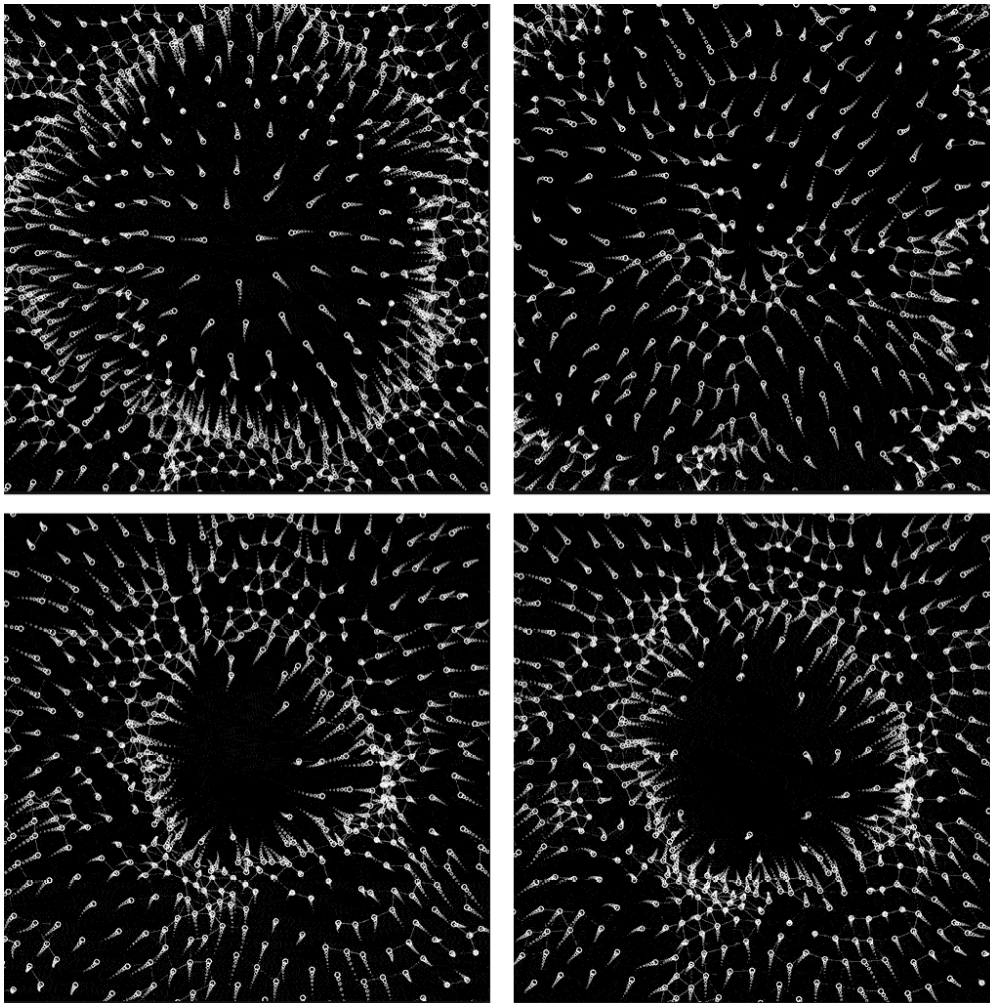


Figura 12 Configuración de enjambre bajo control de algoritmos.

<http://nogifsallowed.tumblr.com/post/101850901515/swarm-variation>

La idea de sistemas complejos extendidos parte de afectar o controlar las instrucciones microscópicas de abajo hacia arriba con la pretensión de planificar la autonomía y dirigir la descentralización, lo cual parece paradójico pero sería posible para

transformar las estructuras macroscópicas, alejándose de los resultados de los estudios que se apoyan en las estadísticas que analizan los fenómenos de auto organización como patrones y modelos uniformes o al azar, lo que no produce muchos resultados.

El comportamiento de los sistemas complejos de la naturaleza en sus procesos morfo generativos, constituyen todo un universo por explorar para generar estructuras morfo generativas y modelos de determinación de la forma, que son posibles de abordar con las herramientas informáticas actuales y se convierten en un deber investigativo del diseño.

3.5.5 Principios de aplicación.

Los algoritmos evolutivos se han usado desde hace muchos años en diferentes disciplinas, intentando usar reglas generativas que permitan diseñar sistemas artificiales con ellos.²¹ Bentley (1999) divide en cuatro categorías el diseño evolutivo: Optimización del diseño evolutivo, Diseño evolutivo creativo, arte evolutivo y vida artificial evolutiva.

Bignon (2008) presenta un ejemplo de morfogénesis como proceso creativo en el diseño arquitectónico que responde a tres parámetros: ambientales, solares pasivos y requisitos del diseñador. Todo ello bajo un proceso de metamorfosis.

La mutación, el cruce y la selección son mecanismos naturales que simbolizan la evolución de las especies y estos mismos pueden simular el desarrollo de dispositivos artificiales.

Para el caso que presenta Bignon, (2008) se apoyan en el diseño de la evolución creativa y la optimización del diseño evolutivo, los cuales permiten entre otras cosas tener una población de soluciones y no una única solución, la selección de individuos de acuerdo

²¹ Hay numerosos ejemplos de algoritmos evolutivos: algoritmos genéticos, propuestas por J.H. Holland en 1975, estrategias de evolución, propuestas por P. Bienert, I. Rechenberg y HP Schwefel en 1960, la programación evolutiva, propuestas por L.F. Fogel en 1966, y la programación genética, desarrollado por J. Koza en 1.992.

Los algoritmos genéticos son probablemente los algoritmos de búsqueda evolutivos más conocidos. Comenzando con J. Holland en 1975, cuyo objetivo era explicar los procesos de adaptación de los sistemas naturales y diseñar sistemas artificiales basados en ellos, ha habido varias aplicaciones de los algoritmos genéticos. Caldas (Caldas y Norford 2003) utilizaron un algoritmo genético para optimizar los presupuestos de construcción al minimizar HVAC, iluminación de los costos de energía y de la construcción. Malkawi (Malkawi et al. 2003) ofrece un entorno Java usando un algoritmo genético como un algoritmo evolutivo y una actuación CFD como un mecanismo de evaluación. Nishino (Nishino et al., 2001) proporcionó un ejemplo de una computación evolutiva interactiva aplicable a un proceso de diseño creativo. Uno de los más famosos autores en el campo de la arquitectura evolutiva es John Frazer, quien ha estado involucrado en el uso de técnicas genéticas para la construcción de diseños de paisaje desde 1968, y el uso de algoritmos genéticos desde 1990 (Frazer et al. 2002). Él explora las posibilidades de expresar conceptos arquitectónicos como reglas generativas de modo que su evolución y desarrollo se pueden acelerar y probados por el uso de modelos informáticos.

a su adaptación a la función y la generación de nuevas soluciones por medio de mutaciones y cruces. Aquí el papel del diseñador cambia de un creador de estilos individuales a un meta diseñador o creador de estilo; del diseño como producto a las ideas como producto.

En el desarrollo de la Morfogénesis en el caso que presenta Bignon las formas pueden someterse a modificaciones morfológicas aunque no topológicas con diferentes operadores, como la torsión, estiramiento, inclinación, flexión y adelgazamiento

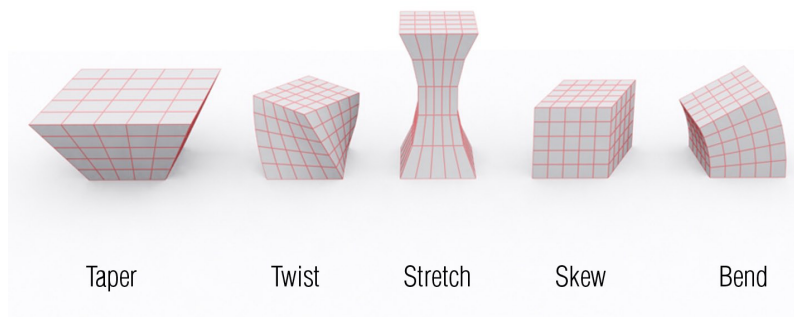


Figura 13 Modificaciones morfológicas no topológicas.

(Bignon, Marin, & Lequay, 2008, p. 334)

Wetsel (2006) propone dos clases de operadores, los unitarios y los binarios, los primeros que actúan sobre un único objeto (rotación, traslación, simetría y transformaciones homotéticas) y los segundos que actúan sobre dos o más formas (torsión, estiramiento, inclinación, flexión y adelgazamiento)

El crecimiento en biología se debe a un proceso generativo es decir un tipo de morfogénesis por tanto en el diseño generativo es necesario conocer el proceso de transformación dado por los operadores es decir su morfogénesis.

En el ejemplo se establecieron:

Patrón inicial: Aquí se establecen normalmente la descripción geométrica esquemática (dimensiones de la trama, superficies y la intensidad formal y representación del diseñador. Topología). En este caso un bloque fijo.

Exploración formal: Se aplican los operadores unitarios asignando rangos de operación. Por ejemplo: cantidad (entre -100 y 100), la curva (entre -3 y 3), el eje primario (x, y o z), eje de efecto (x, y o z) y la rotación

Exploración material: Aquí se aplican parámetros de características del material o cualidades físicas a cada faceta, cara o cuerpo, por ejemplo: resistencia térmica, deformación térmica y aplastamiento.

Bignon et al (2008) en su experimento de morfogénesis apoyados en la distinción que hace Rosenman (1997) entre la transformación y los enfoques de derivación, en donde la derivación se basa en el uso de reglas, proponen el fenotipo (P-Type) que corresponde a las cualidades físicas reconocibles incluyendo la morfología, fisiología y conducta, y el genotipo (G-Type) que revela los factores hereditarios internos, es decir su contenido genético. De este modo el genotipo produce un formulario que puede ser editado cambiando sus parámetros y el Fenotipo es su representación; pudiendo colocar “cromosomas materiales” y “cromosomas Formales” por ejemplo y desarrollar así la morfo generación o las mutaciones basadas en reglas.

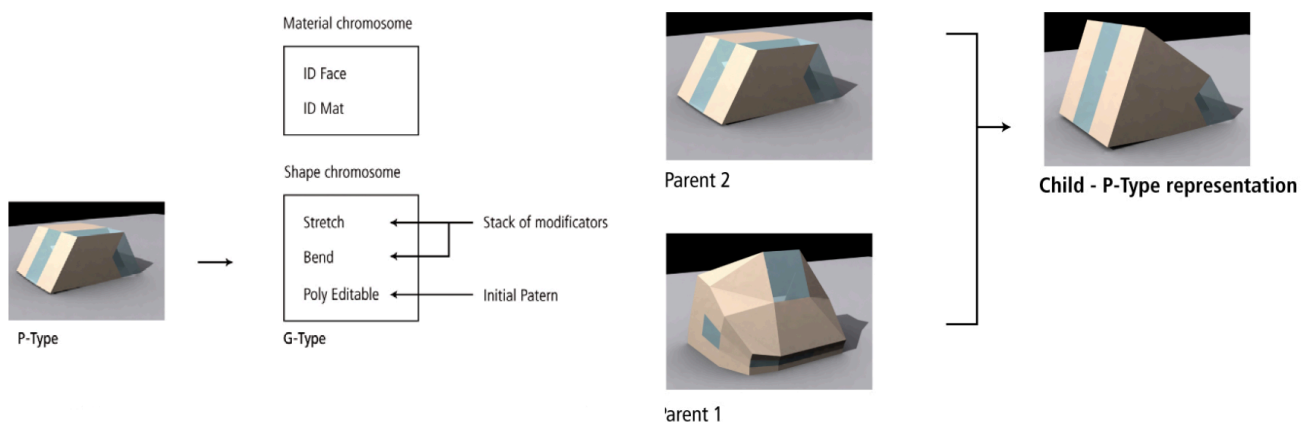


Figura 14 Aplicación de Morfo generación por Fenotipo y Genotipo.

(Bignon, Marin, & Lequay, 2008, p. 335)

3.5.6 Informática y biología en el desarrollo morfo genético

Davis (2009) contrario a Leach (2009) no cree que la morfogénesis digital en la arquitectura sea un cambio de paradigma sino una evolución de los métodos del pasado ya que el arquitecto se mantiene en la construcción de las decisiones para el desarrollo del proceso, pero es a través de esta evolución como modelo, que se incorporan prácticas propias tanto de la biología como de la computación para la resolución de los problemas multidimensionales de la arquitectura e introduce la Optimización de Pareto como elemento clave para el desarrollo de la morfogénesis.

La morfogénesis digital no ha tenido una amplia aceptación ni se ha incorporado al trabajo de arquitectos y diseñadores como se creía y esperaba, por tanto no se puede considerar un cambio de paradigma al no ser adoptada ampliamente y esto se puede desprender, según Davis (2009) de la negación del cientificismo y la distancia que se crea

con científicos informáticos y biólogos, quienes si han tenido éxito en la aplicación de estas técnicas.

La biología y la computación son relevantes y muy importantes para el desarrollo morfo genético puesto que son dominios que concentran conocimientos apropiados sobre la evolución, transformación y el seguimiento controlado de los procesos.

Davis (2009) desarrolla tres aspectos en cuanto al fortalecimiento de la morfogénesis, aplicando la morfo génesis biológica mediante algoritmos genéticos, optimizando los problemas multidimensionales mediante la técnica de Pareto y reformulando el papel del arquitecto dentro de la morfo génesis digital.

Al intentar definir la morfogénesis digital Leach (1999) señala la arquitectura posmoderna contemporánea como *“una obra superficial de formas seductoras vacías y una apropiación filosófica como cubierta intelectual para justificarlas”* (Leach, The anaesthetics of architecture, 1999, p. preface) y más adelante presenta la morfogénesis digital como *“un intento de superar la escenografía del posmodernismo”* (Leach, Digital morphogenesis, 2009, p. 34) y la promueve como una alternativa investigativa de abajo hacia arriba y como una forma propia de investigación, acorde al termino morfogénesis de la biología, que describe el origen y desarrollo de la forma y estructura de un organismo, teniendo en cuenta que la forma de un organismo es reflejo de las limitaciones del entorno y no de los planos.

La diferencia entre la proposición de Leach y De Landa y la de Davis esta asociada al establecimiento de un algoritmo genético cargado de parámetros que es “desatado” permitiendo que el programa surta de alternativas posibles, que supone un proceso racional desprovisto del ego del arquitecto y para el cual se privilegia el rendimiento (Estructural, constructivo, económico, ambiental y otros) y la evidencia, según Davis, de que la morfogénesis digital no esta siendo adoptada por que no es claro el privilegio real del rendimiento.

Pone de ejemplo varios proyectos arquitectónicos, el primero la gran cubierta del patio del British Museum (Chris Williams para Fosters & Partners) que si bien fue generada a partir de la morfogénesis digital teniendo como parámetro fundamental la “relajación dinámica” o estrés mínimo, fue alterada estéticamente por fuera de los criterios de rendimiento lo cual invalida el proceso generativo y lo califica de fraude; El segundo ejemplo es una cubierta temporal para un evento en la Academie van Bouwkunst en Amsterdam (Kristina Shea, Neil Leach, Spela Videcnik y Jeroen van Mechelen) en donde una forma

predefinida, aunque fuese un algoritmo de estructura triangular estable que se adapta bajo otros parámetros, esta fuera de la morfo génesis como tal y posteriormente adaptada fuera de los parámetros de implantación (supuesto desarrollo morfo genético) con criterios estéticos sobre como acentuar las curvas, lo cual nuevamente falsea el desarrollo morfo genético como tal.

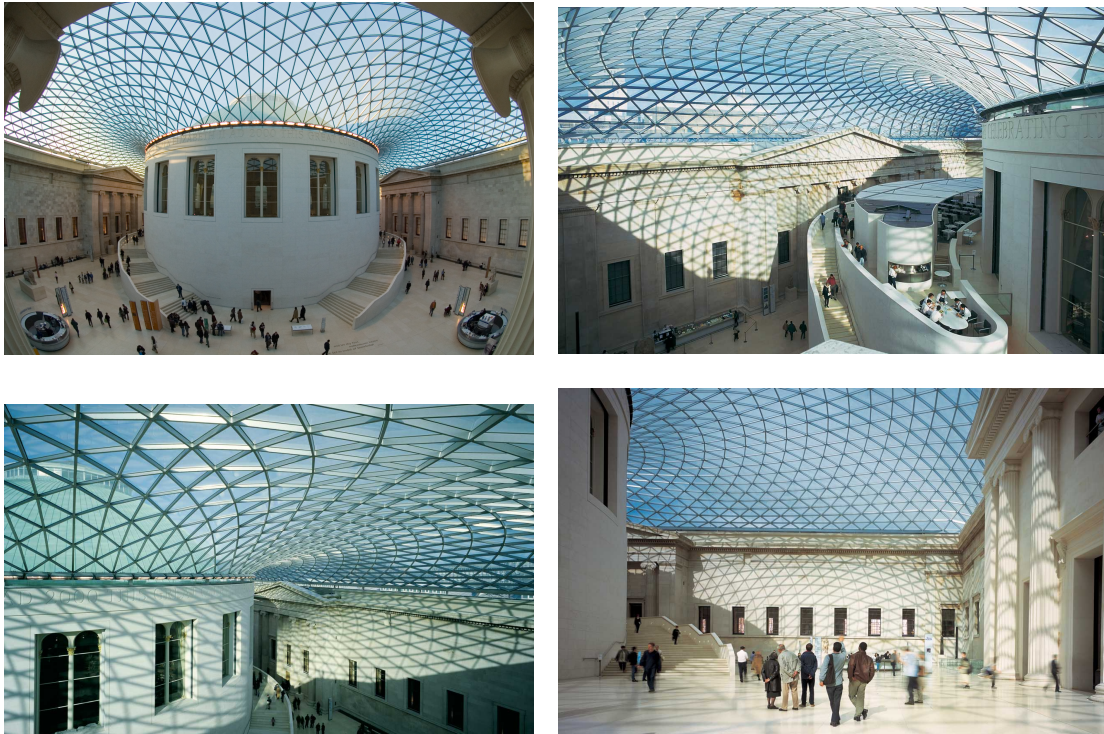


Figura 15 Cubierta del Museo Británico

<http://www.fosterandpartners.com/projects/great-court-at-the-british-museum/>

Lo que intenta demostrar Davis es que la aplicación de la morfogénesis digital al contrario de lo que plantea Leach, un ejercicio de abajo a arriba, se da de arriba hacia abajo planteando una solución global y luego trabajando los detalles con las funciones paramétricas, en contravía de la morfogénesis biológica en donde los algoritmos mejoran por medio de la prueba y el error y no por la combinación de la mejor población de diseño.

Davis encuentra que solo pocos ejemplos de la morfogénesis digital se apegan a la propia definición de Leach, Pablo Miranda Carranza con su proyecto ArchiKluge que es el primero de una serie de experimentos escritos en Java que exploran la "creatividad artificial", y el enfoque generativo en la arquitectura. ArchiKluge explora las cualidades de diseño desprovisto de cualquier intención, suposición o prejuicio con una forma muy peculiar de "sin pensar" pero sin descanso, enfrentando los obstáculos y problemas hasta su superación, como una manera de actuar que la naturaleza y las máquinas tienen.

Los programas desarrollados como algoritmos genéticos producen soluciones a manera de poblaciones que están determinadas por las restricciones, del mismo modo que lo hace la naturaleza permitiendo que se reproduzcan aquellos aptos dentro de la función aptitud, así el sistema apoyado en cada individuo puede evolucionar. Para Miranda (2004) *“El individuo por lo general consta de un genotipo, o cierta información codificada en la que el algoritmo genético opera (reproducción, mutación, recombinación), y la información descodificada y traducida, conocido como el fenotipo, del cual se evalúa la aptitud. De tal modo que las poblaciones en relación con las restricciones se adaptan de la mejor forma posible generando un fenotipo particular a partir del genotipo introducido como elemento nuevo.*

Dentro de la relación comparativa adelantada por Davis (2009) entre los proyectos de morfogénesis digital apoyados en algoritmos genéticos en la arquitectura contemporánea y aquellos que proponen el desarrollo de poblaciones de abajo hacia arriba, como Miranda y Somnath, encuentra algunos atributos en los algoritmos genéticos que aun no se han realizado como *Pensar en la población* (Goldberg, 1989, p. 41) o la capacidad de desarrollar soluciones múltiples simultáneamente para recombinar en una sola vía de abajo arriba, la *Derivación de arquetipos* (Poli & Langdon, 2008, p. 16) o la progresión no lineal dentro del problema y la *rutina competitiva humana sobre los resultados* (Koza, Keane, Streeter, Mydlowec, Yu, & Lanza, 2003, p. 1), citando solo algunos.

Los algoritmos de búsqueda a los que pertenecen los algoritmos genéticos son aquellos que están diseñados para localizar un elemento con ciertas propiedades dentro de una estructura y son estos junto con los modelos paramétricos y de escalada los que usa la morfogénesis digital, sin embargo estos se limitan a la resolución de un problema particular (teorema de incompletitud de Gödel) sin embargo los problemas en arquitectura y diseño son complejos, contradictorios e incompletos por tanto el modelo de algoritmos en la morfogénesis digital no es suficiente a menos que se aborde desde una perspectiva que pueda manejar problemas con objetivos múltiples. Para ello se puede recurrir a la Optimización de Pareto²², que como técnica permite la búsqueda de objetivos múltiples evitando tener que intentar construir un solo objetivo para un proyecto.

²² En muchas disciplinas de la ingeniería tenemos que encontrar soluciones en la presencia de objetivos en conflicto. En tales casos, las soluciones se eligen de manera que hay compensaciones razonables entre diferentes objetivos. La optimización de Pareto es un enfoque para el manejo de este tipo de situaciones. En lugar de generar una única solución óptima, muchas soluciones se generan que satisfacen el Criterio Óptimo de Pareto. De acuerdo con este criterio, un punto P solución es aceptada sólo si no hay soluciones mejor que P con respecto a todos los objetivos. Por ejemplo, incluso si P es peor que otra solución P1 con respecto a un objetivo, P es aceptado siempre que sea mejor que P1 en al menos un objetivo. Así, cada solución óptima de Pareto es bueno en algunos aspectos. El conjunto de todas las soluciones óptimas de Pareto forman una superficie conocida como un frente de Pareto. El frente de Pareto ayuda a los ingenieros a entender la naturaleza de las compensaciones que deben hacerse a fin de seleccionar las buenas soluciones. Visualizar el frente ayuda a los ingenieros a tomar buenas decisiones. <http://www.bennyraphael.com/technical/pareto.html>

El papel del arquitecto o diseñador será siempre la de elegir el origen o fenotipo, los algoritmos iniciales y la elección de las soluciones viables, por tanto no perderá el poder ni se limitará a desatar el programa que genera las formas posibles .

Davis se concentra en la crítica al trabajo de Leach y otros, cuando dicen que entregando el desarrollo formal a la morfogénesis digital como ente autónomo y plenamente objetivo se pierde también el papel del diseñador. Creo que si bien es una crítica argumentada solo refleja la inmadurez tanto de los desarrollos teóricos y las explicaciones de la morfogénesis digital como del análisis global de Davis.

Sin embargo al final en sus conclusiones anota lo que muchos otros ya están trabajando y reconoce que *“La Morfogénesis digital podría mejorarse: colocando el arquitecto y el ordenador en simbiosis; reconociendo la contribución de los informáticos y biólogos; que permite la integración de las funciones de búsqueda multi-objetivo, así como los algoritmos genéticos”* (Davis, 2009, p. 29)

3.6 Formas topológicas.

La topología siendo desde la matemática, el estudio de las propiedades intrínsecas, cualitativas de las formas geométricas, que no son afectadas por cambios como el tamaño y se mantienen invariantes a pesar de ciertas transformaciones, se convierte en un área de estudio muy importante en la creación de las formas por medios digitales e involucra tanto conceptos como lógicas computacionales, tales como Geometrías topológicas, polisuperficies isomorfas, cinemática, dinámica del movimiento, animación, diseño paramétrico y genética de algoritmos evolutivos, entre otros.

Un círculo y una elipse, por ejemplo, o un cuadrado y un rectángulo, pueden ser considerados topológicamente equivalentes, ya que ambos, el círculo y el cuadrado podría deformarse, se extiende por ellos en un elipsoide o un rectángulo, respectivamente. Un cuadrado y un rectángulo tienen el mismo número de aristas y la misma número de vértices, y son, por lo tanto, topológicamente idénticos, o homeomorfo. Esta cualidad de homeomorfismo es particularmente interesante, ya que se centra en la estructura relacional de un objeto y no en su geometría- la misma estructura topológica podría ser geoméricamente manifestada en un número infinito de formas. (Kolarevik, 2012, p. 13)

Las posibilidades que genera el manejo topológico de las formas, en donde las transformaciones se hacen infinitas a medida que existen más parámetros y los pasos intermedios entre unos y otros, permiten el desarrollo de formas complejas, curvilíneas y adaptables. De otra parte va desapareciendo la distinción entre “dentro” y “fuera” y aparecen formas complejas donde priman las relaciones, cualidades e interconexiones estructurales.

La topología se asocia con formas curvilíneas y complejas, pero no por ello deja de tener un fuerte apego a la geometría euclidiana, de hecho parte de ella como elemento primigenio especialmente en el ámbito operativo; así que no se pierde ese pensamiento firmemente establecido de la geometría euclidiana en el diseño.

El pensamiento arquitectónico a lo largo de los siglos se basa firmemente en Pensamiento euclidiano y sólidos platónicos, perfectamente representados en Le Boceto Corbusier s) en su libro Vers une architecture. (Lecorbusier, 1931)

El cilindro, pirámide, cubo, prisma y la esfera no eran sólo el las formas esenciales de la arquitectura egipcia, griega y romana, como secamente observado por Le Corbusier, pero también eran universales en la geometría “primitiva” del software de modelado de sólidos digital a finales del siglo veinte. (Kolarevik, 2012, p. 14)P 3

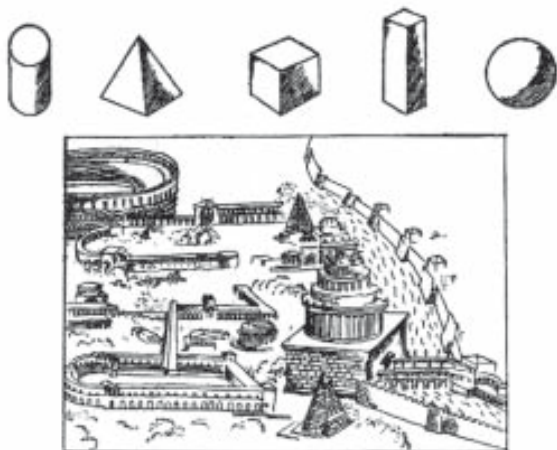


Figura 16 Le Corbusier: composición volumétrica en la arquitectura antigua.

(Kolarevik, 2012, p. 14)

La geometría euclidiana se ve desde la perspectiva digital como casos especiales de superficies cuadráticas paramétricas y no como arquetipos únicos. A excepción del quinto postulado de “paralelismo” se considero como geometría absoluta, pero justamente fue a

partir de éste que se desarrollo la geometría no euclidiana afectando tanto la física como la astronomía, ya que no tuvo en cuenta la curvatura del espacio. De allí nacieron otras posibilidades de interpretación y representación del espacio, las líneas y las formas, la geometría esférica de Riemann o la geometría hiperbólica de Poincare, presentan múltiples posibilidades de conceptualización del espacio y el software de manera incipiente permite transformaciones del espacio. Algo que permitiría aun más posibilidades creativas o facilidad para la creación.

Cuando un cuadrado puede ser una cúpula dependiendo de los parámetros del espacio en el que existe o cuando se inscribe en un continuo cuadridimensional de interacciones entre el espacio y el tiempo surgen posibilidades para la creación en diseño.

3.6.1 Nurbs

Los primeros programas digitales de diseño se apegaban a los limites de la geometría cartesiana y permitían la construcción de líneas complejas por medio de la aproximación de tangentes, arcos y rectas que a su vez permitían su construcción o materialización, pero la proyección de volúmenes por medio de curvas en el espacio permitió el desarrollo de la topología ya que la construcción de una superficie curva en el espacio se convertiría en una hoja modelable; hoja que matemáticamente se describe como Nurbs y permite la manipulación interactiva por medio de los puntos de control, los pesos y los nudos usando la menor cantidad posible de datos y pocos pasos para su conformación, es por ello que es usado en la mayoría de programas de modelado digital como método para la construcción de modelos complejos de superficies y modelos solidos.

Los puntos de control en una curva tiene pesos asignados de tal manera que afectan la curva en cada segmento, así la manipulación de los pesos y la ubicación de los puntos de control darán la forma a la línea. Cada punto se define como una ecuación poli nómica y la R de Nurbs se refiere a la relación entre las ecuaciones de los puntos que definen un segmento de la curva y como ellos no necesariamente son iguales por ello se define como “no uniforme”.

Nurbs. Nudos, pesos y puntos de control.

B-Spline. Nudos y Puntos de control.

Bézier. Puntos de control.

Una propiedad importante de las curvas hechas por splines es que su curvatura, es decir, el radio de la curva, cambia continuamente a lo largo de su longitud, en agudo contraste con las curvas hechas de tangentes y arcos circulares, que, a pesar de su aspecto liso, tiene puntos discretos en el que la curvatura cambia bruscamente. Hay diferentes niveles de continuidad en la curvatura (figura 2.6): una curva con un ángulo o una cúspide se dice que tiene Continuidad C0; una curva sin cúspides pero con curvatura cambiante tiene Continuidad C1; una curva con curvatura constante es continuidad C2 son posibles niveles más altos de continuidad, pero para la mayoría de propósitos prácticos, estos tres niveles son suficientes. Además de la dinámica de fluidos, la continuidad de curvatura también tiene importancia estética e implicaciones para la fabricación, por lo que la mayoría de los programas de modelado proporcionan herramientas para el análisis de continuidad (figuras 2.7 y 2.8). (Kolarevik, 2012, p. 16)

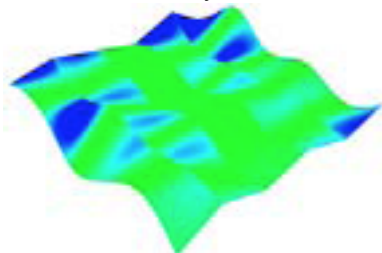


Figura 17 Morfogénesis digital. Figura 2.6 en Digital Morphogenesis.

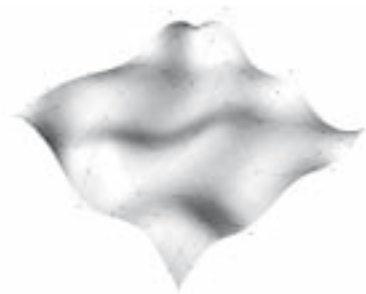
(Kolarevik, 2012, p. 17)



Curvature continuity: the zebra analysis.



Curvature continuity: the Gaussian analysis.



The control lattice for a NURBS surface.

Figura 18 Morfogénesis digital. Figuras 2.7 y 2.8 en Digital Morphogenesis.

(Kolarevik, 2012, p. 17) P 8

En una superficie Nurbs, esta red de puntos de control y nudos expresados en la superficie garantiza la continuidad de la misma y permite su manipulación y transformación tal como se hace con una línea. De otra parte una cualidad fundamental de los objetos Nurbs es que se expresan bajo ecuaciones en un espacio paramétrico unidimensional, aun cuando su manifestación se da en un espacio geométrico tridimensional; las curvas a nivel topológico tienen un solo parámetro, las superficies dos dimensiones “T” y “V” para distinguirlas de X, Y y Z de los planos cartesianos. Las curvas Isoparamétricas se usan para la visualización de las superficies tal como las isolineas en topografía.

El uso de ecuaciones y conjuntos de ecuaciones permite la descripción paramétrica de curvas, superficies y superficies complejas, usando variables que pueden ser dependiente o independientes y que además se pueden expresar de diferentes formas.

3.6.2 Paramétricas.

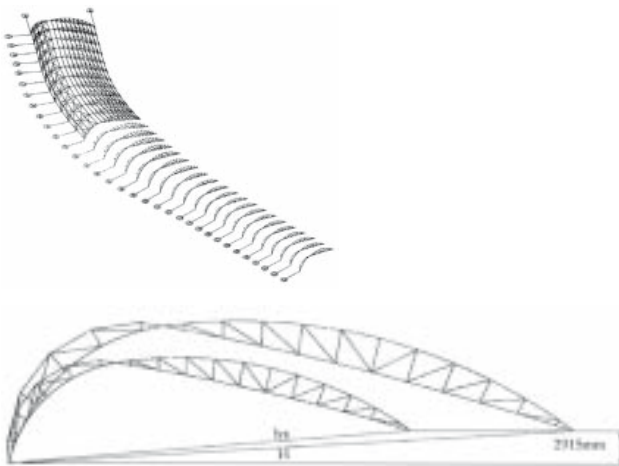
Los parámetros pueden proporcionar una potente concepción de la forma en arquitectura mediante la descripción de una gama de posibilidades, sustituyendo en el proceso lo estable con lo variable, la singularidad con multiplicidad. Usando parámetros, los diseñadores pueden crear un número infinito de objetos similares, manifestaciones geométricas de un esquema previamente articulada de dependencias dimensionales, relacionales o variables operativos. Cuando a esas variables se asignan valores específicos, casos particulares son creados a partir de una gama potencialmente infinito de posibilidades. (Kolarevik, 2012, p. 17) P 9

La característica principal del diseño paramétrico es que se han determinado los parámetros de un objeto (su topología) y no su configuración. A partir de un parámetro se

obtienen infinidad de formas posibles por tanto objetos y configuraciones; es la geometría de relaciones o asociativa la que usa las ecuaciones para crear la multiplicidad de objetos. Marcos Novak ha creado “espectáculos algorítmicos” con el software Mathematica con exploraciones de “producción Tectónica” sin preocupaciones pragmáticas, es decir que a cada variable se le asignaron rangos propios y de relación, de tal forma que podía no solo transformarse sino afectar y transformar a otras, así la implicación del diseño paramétrico no es desarrollar formas estables sino los rangos de interacción, lo que Mark Burry denomina Paramorph.

Un ejemplo práctico de la aplicación del diseño paramétrico es la Terminal Internacional de Waterloo Station en Londres, cuya cubierta cubre un recorrido de 400 metros con un ancho variable de entre 35 y 50 metros sobre un andén de radio y pendiente variable.

En lugar de modelar cada arco por separado, un modelo paramétrico genérico fue creado basado en las reglas de diseño subyacentes en los que el tamaño de la longitud y la curvatura de los arcos individuales estaban relacionados (Figuras 2.16a -b). Al asignar distintos valores al rango de medición, resultan 36 dimensionalmente diferentes, pero topológicamente idénticos, los arcos se calculan y se insertan en el modelo geométrico en general. (Kolarevik, 2012, p. 18)



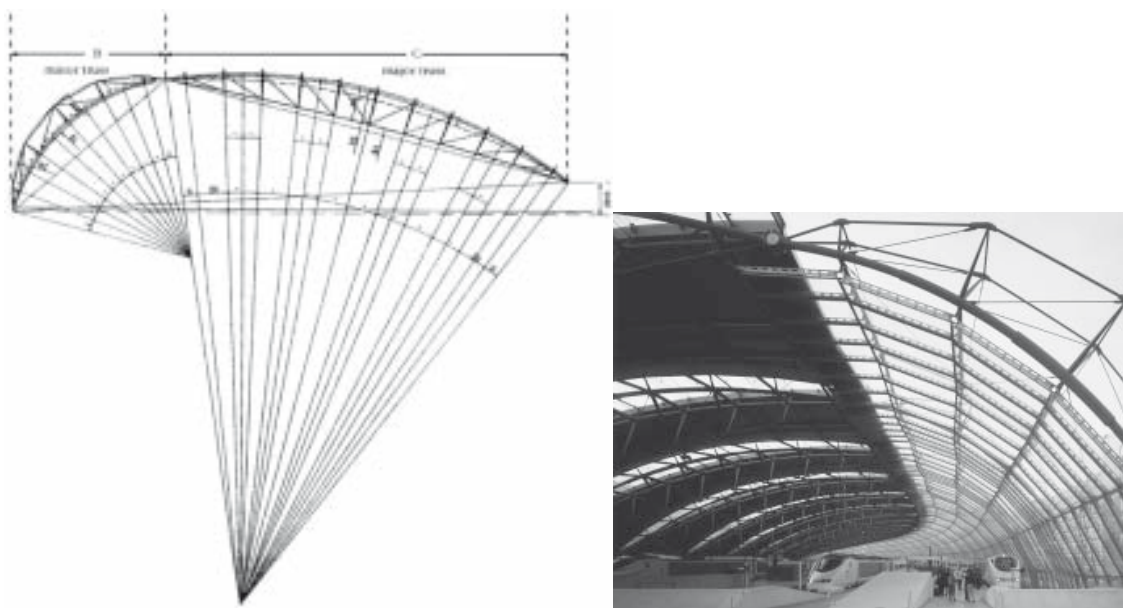


Figura 19 Morfogénesis digital. Figuras 2.16 a- b en Digital Morphogenesis.

(Kolarevik, 2012, p. 17) International Terminal, Waterloo Station (1993), London, UK, Arquitecto Nicholas Grimshaw and Partners.

Así como en arquitectura se pueden ver algunos ejemplos del ejercicio del diseño paramétrico, es posible que los diseñadores en diferentes especialidades puedan aplicar sistemáticamente desde el desarrollo conceptual hasta la materialización el enfoque paramétrico, lo que cambiaría no solamente el diseño de los objetos por un conjunto de principios codificados como ecuaciones paramétricas, sino el papel del diseñador en el proceso de diseño de productos. El diseño paramétrico no solo se aparta de las soluciones únicas y estables sino que a partir de la variedad y la posibilidad real de producción y materialización, apoya la personalización masiva y la adaptación de los objetos; esto en concordancia con los avances en las formas de producción.

3.6.3 Dinámica en la construcción de la forma.

La forma en diseño y arquitectura hasta hace poco estática empieza a valorar las dinámicas a que es sometida, sean estas ambientales o socio económicas y se convierte en un elemento plástico mutable que evoluciona dinámicamente y abandona ser el constructo que manifiesta un plan interior estacionario. Greg Lynn ha utilizado software de animación no como medio de representación sino como una manera de generar la forma ya que considera que *“mientras que el movimiento implica movimiento y acción, la animación implica evolución de una forma y de sus fuerzas de conformación”* (Lynn, Animate form, 1998) Lynn ha utilizado diferentes técnicas de modelado como fotogramas clave, cinemática

inversa, campos de fuerza y emisión de partículas, con todos ellos simula la interacción de fuerzas internas y externas como dinámicas que modelan el espacio de acuerdo a las condiciones de uso y del contexto, generando formas que se adaptan a estos sea produciendo mutaciones o adoptando configuraciones que permiten estas interacciones.

Cinemática, en su verdadera mecánica. Esto quiere decir que se utiliza para estudiar el movimiento de un objeto o un sistema jerárquico de objetos sin tener en cuenta la posibilidad de su masa o de las fuerzas que actúan sobre ella. Construcciones jerárquicas, como esqueletos “hecha de huesos” y “articulaciones”, que puede tener asociadas diversas limitaciones, permiten a los diseñadores crear una infraestructura de relaciones que determinan el complejo comportamiento del modelo bajo transformaciones, las cuales, por ejemplo, pueden resultar de la influencia de fuerzas externas.

La simulación dinámica tiene en cuenta los efectos de las fuerzas sobre el movimiento de un objeto o un sistema de objetos, sobre todo de las fuerzas que no se originan dentro del propio sistema. Propiedades físicas de los objetos, como la masa (Densidad), la elasticidad, la fricción estática y cinética (o aspereza), son definidos. Se aplican fuerzas de la gravedad, el viento, o vórtice, colisión detección y obstáculos (deflectores) están especificados, y la simulación dinámica se calcula. Influencias de gradiente de campo se aplican como analogías abstractas directas de las influencias ambientales, como la eólica y la solar y fenómenos contextuales, como movimientos de peatones y vehículos, paisajes urbanos, configuraciones, patrones e intensidades de uso, diseño etc. (Kolarevik, 2012, p. 20)

El movimiento al que refiere Kolarevic no es el movimiento de la arquitectura modernista donde el movimiento se prefiguraba y denotaba contornos curvos interiores o exteriores expresando las dinámicas del edificio sino aquel que prioriza la forma sobre el espacio, cuando se tiene en cuenta el movimiento y su fuerza desde la concepción de la forma; es aquel que reconoce las dinámicas de los campos de fuerza como la condición inicial que evidencia el movimiento y produce las transformaciones de la forma, lo que Kolarevic también denomina la Morfogénesis digital.

Esta relación de fuerzas las asocia directamente con las proposiciones de D'Arcy Thompson, quien argumenta que las formas de la naturaleza se modelan por la contraposición de las fuerzas y contrasta que el espacio tradicional del diseño arquitectónico es un “espacio neutro ideal de coordenadas cartesianas” y el espacio en otras áreas del

diseño se concibe como un “entorno de fuerza y movimiento”; con ello quiere demostrar que la forma física se define en términos de coordenadas estáticas, pero es la fuerza virtual del ambiente la que aporta para la definición de la forma. Con ello denota un cambio de paradigma que va desde un espacio estático pasivo a un espacio activo de interacciones en donde florece la especificidad del contexto autónomamente, es decir que las interacciones dentro del espacio generan la forma y todo ello lo atribuye a las posibilidades en el uso de medios digitales.

En lugar de someter las construcciones formales genéricas a las influencias de campos de fuerza, los diseñadores pueden visualizar directamente la forma de los campos fuerza utilizando polisuperficies isomórficas, que representan otro punto de salida de los sólidos platónicos y espacio cartesiano. Blobs o metaballs, como polisuperficies isomorfas que a veces se llaman, son objetos amorfos contruidos como conjuntos compuestos de afectaciones mutuas de objetos paramétricos con las fuerzas internas de masa y atracción. Ejercen campos o regiones de influencia que podría ser aditivo (positivo) o sustractiva (negativo). La geometría se construye mediante el cálculo de una superficie a la que la campo compuesto tiene la misma intensidad de ahí el nombre polisuperficies isomorfas. (Kolarevik, 2012, p. 21)

Las polisuperficies isomorfas generan nuevas posibilidades formales donde los objetos interactúan entre sí respondiendo a los campos de influencia es decir adaptándose a las fuerzas de movimiento ya sea por la incorporación de nuevos objetos o nuevas relaciones entre ellos, así los objetos actúan dinámicamente y no como elementos estáticos.

3.6.4 Metamorfosis

Desde el punto de vista del uso del software o los medios digitales en la determinación de la forma este es uno de los apartados más prolíficos ya que se utilizan las herramientas que ellos ofrecen para generar nuevas posibilidades. Las flexiones y las torsiones son las más comunes por lo que se ajustan perfectamente a las cualidades de topologías invariantes que se transforman y arquitectos como Gehry para Üstra²³ lo han aplicado en sus obras. La adición de la variable temporal permite expresar el espacio literalmente y la animación da todas las herramientas para ello, así los fotogramas clave llevan las transformaciones interpolando suavemente las transformaciones y permitiendo tomar cualquiera de ellas como base para la configuración del objeto, del mismo modo el

²³ ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG, es una de las principales empresas de transporte público local de Alemania.

software permite desarrollar iteraciones de una forma con una variable establecida y producir unas nuevas que igual se ajustan a una etapa de transición y por ende a todo el conjunto.

Otro software utilizado directamente es Morphing, en el que formas diferentes se mezclan para producir formas híbridas con las que se resuelven geometrías complejas que combinan atributos base y pueden ser al mismo tiempo espacio, objeto y superficie; Sulan Kolatan y Bill MacDonald han desarrollado estas posibilidades y creado diferentes proyectos objetuales y espaciales tanto de transformaciones específicas como de experimentación de transformaciones no lineales o indeterminadas.

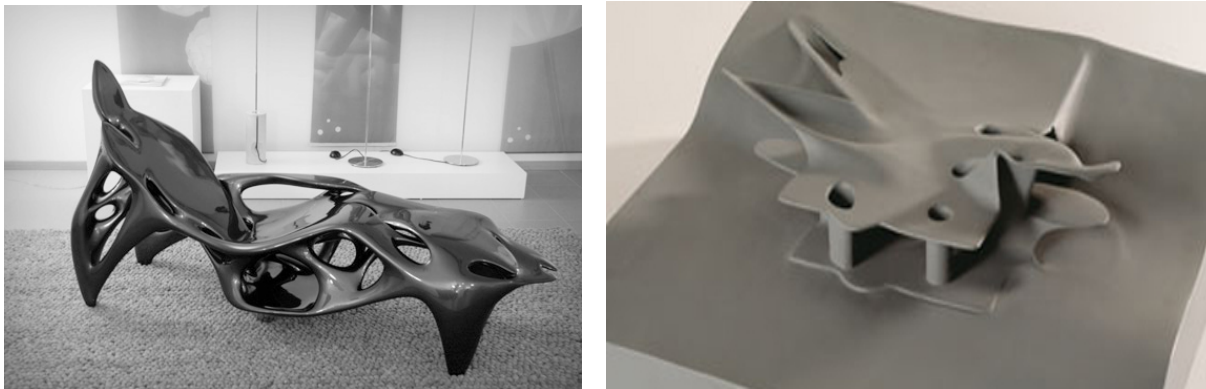


Figura 20 Root chair y Meta-Hom por Sulan Kolatan y Bill MacDonald

<https://i.materialise.com/blog/5-amazing-full-sized-furniture-pieces-made-with-3d-printing/>

http://m.frac-centre.fr/_en/collection/art-and-architecture-collection/index-authors/authors/projects-317.html?authID=107&ensembleID=307

Otra técnica utilizada es ajustar las deformaciones a ciertos límites ya sean estos un cuadro delimitador, una curva spline o un eje o plano de coordenadas, así la forma se ajustará a los cambios de la geometría.

3.6.5 Indeterminación y azar

Los enfoques de diseño han abandonado los sistemas del determinismo en las prácticas de diseño y ha emprendido el aprendizaje y uso de los nuevos procesos digitales de concepción, el diseñador antes de aventurarse en la especulación de la forma, construye sistemas generativos de producción formal. Sistemas que se constituyen de estructuras de influencias, relaciones, restricciones y normas, que se definen primero por medio de la información y se especifica en un espacio temporal. Lo que se obtiene de esta estructura es una forma genérica que se somete a las mismas influencias a modo de génesis sobre el cual producen infinitas variaciones.

La forma emergente suele ser curvilínea, compleja e inestable pero sus consecuentes variaciones proporciona un universo de posibilidades que se ajustan a las relaciones y restricciones impuestas dando al diseñador la posibilidad de elegir con base en su sensibilidad estética y por tanto las nuevas formas dependerán de esas capacidades cognitivas. El diseñador habrá recorrido desde la construcción del sistema generativo a partir de su cognición cualitativa a la determinación de la forma por su elección a partir de la percepción. Tal como lo describe Kolarevik diciendo que:

El papel generativo de las nuevas técnicas digitales se logra a través del diseñador en la interpretación simultánea y manipulación de una construcción computacional (superficie topológica, campo isomorfos, esqueleto cinético, campo de fuerzas, modelo paramétrico, genética del algoritmo, etc.) en un discurso complejo que está continuamente reconstituyéndose como un discurso “autorreflexivo” en el que los gráficos forman parte activa en el proceso de pensamiento del diseñador. (Kolarevik, 2012, p. 26)

Bajo este modelo no se crean modelos o formas estáticas e invariables, a pesar de establecer parámetros, normas y restricciones, siempre tendrá campos de indeterminación resultado de la inesperada influencia de acciones y reacciones de las fuerzas en juego desde la génesis de la estructura. Y es esta capacidad del indeterminismo lo que conduce a “encontrar una forma” y no ha “construir una forma” garantizando siempre formas nuevas .

En enfoques computacionales para el diseño contemporáneo, hay un reconocimiento explícito de que la admisión de lo impredecible e inesperado es lo que a menudo allana el camino a la invención poética y transformación creativa. La no linealidad, la indeterminación y surgimiento se busca intencionadamente (Kolarevik, 2012, p. 26).

La capacidad disponible de las técnicas digitales demuestra el potencial generativo para el diseño, pero no se trata simplemente de abordar las tareas bajo otros medios sino reconocer cambios paradigmáticos y asumir una posición crítica desde su conocimiento; es una oportunidad de discutir más ampliamente los enfoques sobre las posibilidades y los retos del diseño digital.

3.7 Generación informática de alternativas y variaciones.

El control de variables dentro del proceso de conformación por medios digitales permite tanto visualizar las transformaciones como ajustar los parámetros dentro de límites establecidos, con lo que se generan alternativas posibles que cumplen con ciertas condiciones predeterminadas, del mismo modo que permite visualizar cada uno de los cambios que sucede en las superficies y contornos.

En el trabajo desarrollado por Dean, *Future Factories* se puede observar el control de variables y cómo trascienden la determinación de la forma en generaciones. Teniendo en cuenta que en Future Factories:

Las plantillas de meta-diseño mantienen los criterios de diseño potencialmente en un infinito número de resultados. Y esto se consigue utilizando un enfoque de diseño computacional que combina software de CAD paramétrico con secuencias de comandos del ordenador. Se definen tres modelos CAD tridimensionales, por la geometría, por un conjunto de curvas, y por las relaciones entre ellos.

Tomando como ejemplo la lámpara Tuber, en donde:

... la forma se define por una serie de círculos. Tres operaciones definen cada círculo, una translación desde el origen (en espacio cartesiano), un giro relativo a los ejes globales y una escala. Cada una de estas tres operaciones se subdivide a continuación en los componentes X, Y y Z. Cada elemento de la geometría de CAD, por tanto, tiene nueve parámetros discretos que se pueden ajustar, (Dean, 2009, p. 67)

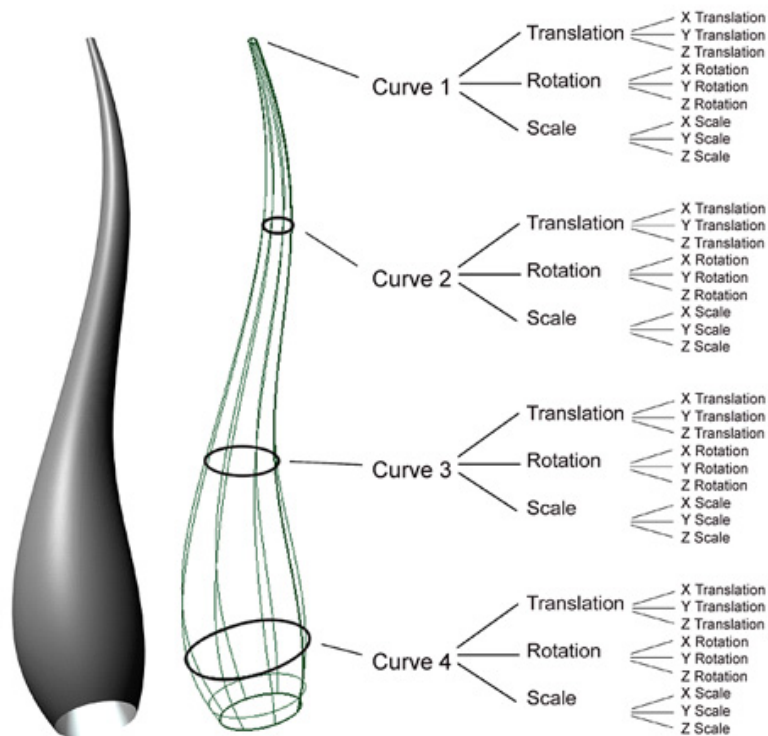


Figura 21 Figura 28 en Future Factories. Fenotipo Forma y Genotipo Lista de datos

(Dean, 2009, p. 68)

Para evitar los saltos y perder la continuidad de la superficie al cambiar los valores de los parámetros se utiliza un programa de animación que a partir de key-frame genera los pasos intermedios. Ahora bien la elección de este cuadro de referencia es clave en los resultados por tanto su elección debe responder a criterios establecidos y un procedimiento.

Los principios de animación según el procedimiento que se aplica en FutureFactories establecen diferentes variables que pueden moverse dentro de rangos especificados.

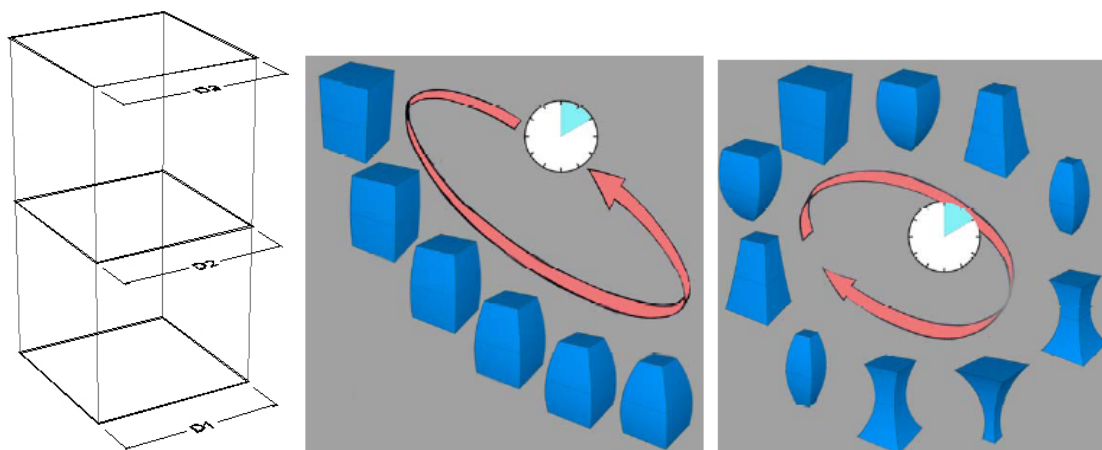


Figura 22 Figuras 30, 31 y 32 en Future Factories, Transformación de un sólido por planos

En la figura 22 se puede ver la conformación de un sólido por planos, el efecto de variación de escala y el efecto de diferentes variaciones de escala en los planos. (Dean, 2009, p. 71)

Para el mismo ejemplo de la figura 22, las curvas de control definidas por D1, D2 y D3 que pueden variar de 30 a 100%, por colocar un rango como parámetro y que se aplica a una, dos o las tres curvas en tasas relativas establecidas, produce múltiples variaciones.

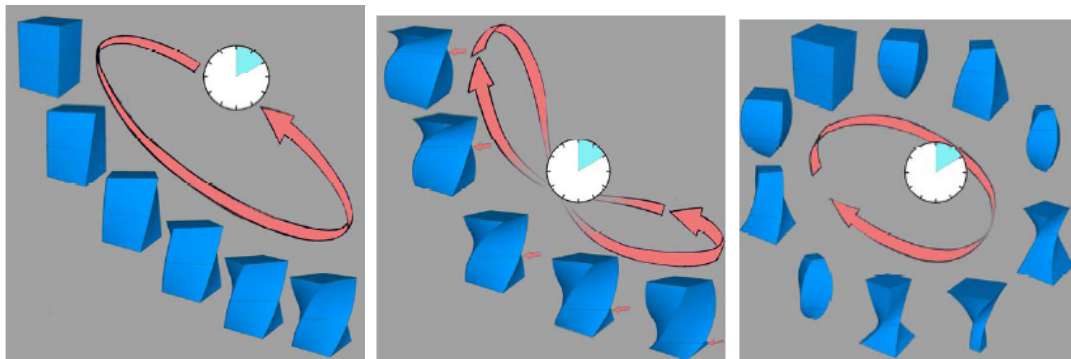


Figura 23 Figuras 33, 34 y 35 en Future Factories, Control de variaciones. Dean (2009)

Otra varianza puede ser la rotación o giro alrededor del eje central (u otro) y la variación de altura del plano central que puede subir o bajar; finalmente la combinación de las variables produce una infinidad de posibilidades.



Figura 24 Twist Candlestick

(Dean, 2009, p. 73) Juego de lámparas desarrolladas con un mínimo de controladores.

Las varianzas o alteraciones pueden aplicarse independientemente o afectar a todo un conjunto, estableciendo una esfera de influencia con afectaciones de grado variables o llegar incluso a la pretensión de un cambio estructural.

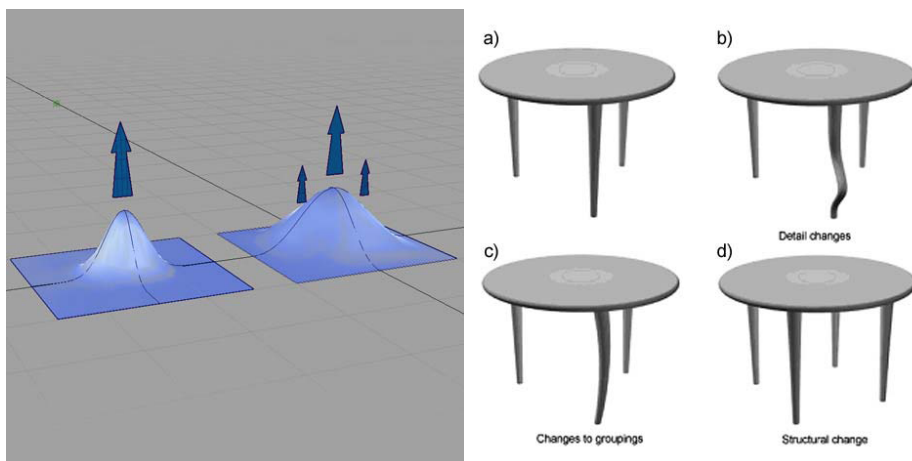


Figura 25 Figuras 37 y 38 en Future Factories, Dean (2009)

Área o esfera de influencia y modos de mutación. (Dean, 2009, p. 75)

Los cambios estructurales a partir de las varianzas son casi imposibles debido a la geometría basada en superficies aunque deseable y ello es posible si se rompe el diseño en sub modelos separados. Así cada parte con su geometría propia puede unirse con una operación booleana con enlaces que pueden ser controlados.

La pretensión de Future factories era generar un software genérico de potencial comercial a partir de un “espacio de soluciones” que permitiría generar una envolvente completa donde se dan las variaciones dependientes de los parámetros. Controlar uno a uno, sus relaciones con los demás y las afectaciones por áreas de influencia, resulta extremadamente largo y complejo, además que sus resultados podrían ser aburridos y predecibles, esto sería un plugin de los sistemas CAD.

Lo que supone entonces usar los principios de diseño evolutivo usando algoritmos genéticos que permiten crear entidades virtuales sin que se recorra el procedimiento o se conozcan todos los parámetros. Se utilizarían entonces los parámetros de viabilidad y funcionalidad, aplicando para cada proyecto las funciones de fabricabilidad e identidad (intensión del diseñador), lo que produce entonces soluciones aceptables sin tener que ver todas las posibilidades, desde allí si sería posible la selección.

3.7.1 Un modelo para la mutación y la selección.

En la animación cada cuadro clave es *padre* de una evolución y tiene *descendencia* bajo parámetros de algoritmos, que a su vez uno nuevo elegido sería padre de otra evolución. Estos cuadros clave serían elegidos a partir de la puntuación para la aptitud, en

relación a la intensión del diseñador y bajo criterios funcionales, lo cual asegura su fabricabilidad.

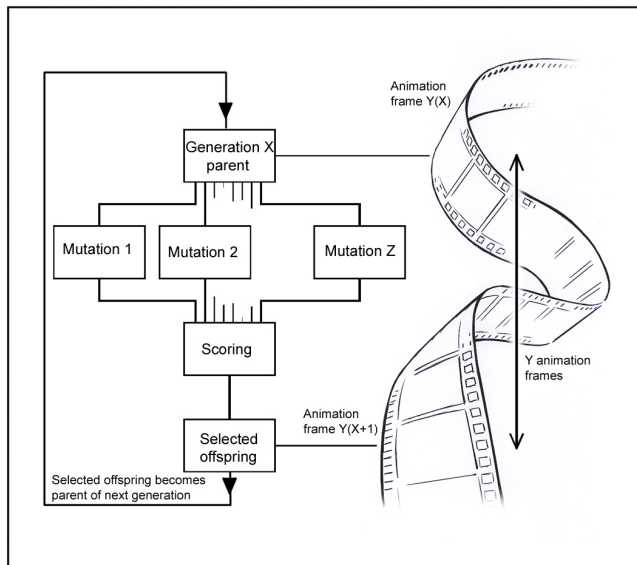


Figura 26 El proceso de mutación, selección y animación

(Dean, 2009, p. 78)

La introducción de principios evolutivos da lugar a una Estética Evolutiva de Diseño con la que, al simplificar el control se optimiza funcionalmente el diseño, especialmente al usar los sistemas de computación evolutiva. Lo que Dean resume, señalando que:

La idoneidad y la funcionalidad del diseño está presente en la forma del producto sembrado inicial. Estas cualidades son entonces mantenidos por el proceso de selección, en lugar de ser mejorado. (Dean, 2009, p. 79) P 22

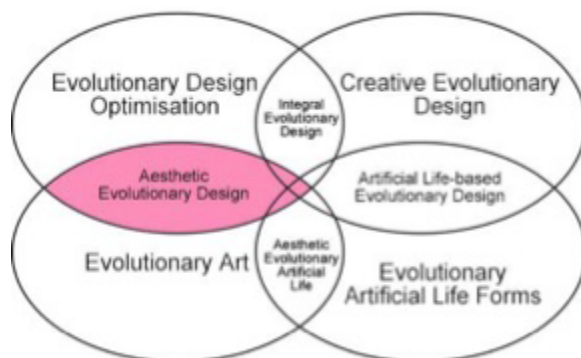


Figura 27 Aspectos de la evolución del diseño informático.

(Bentley, 1999)

El modelo de Dean aporta sencillez al proceso de diseño y a la toma de decisiones, manteniendo el control de la aptitud en parámetros altos, asegurando la fabricabilidad por

medio de los algoritmos y permitiendo descendencia (alternativas) que asegura la variedad bajo condiciones de selección.

3.7.2 Clasificación genética o evaluación.

El diseñador al introducir una forma inicial (bajo parámetros) podrá a través de la evolución mostrar diferentes pasos o etapas de transformación, de los cuales el diseñador podrá guiar los cambios dentro de dicha evolución sin la presión de los procesos de fabricación, ya que la fabricación digital se acomoda a las geometrías complejas. En la propuesta de Future Factories se define la complejidad geométrica dividiendo la superficie sobre el volumen, lo cual condiciona la simple expansión.

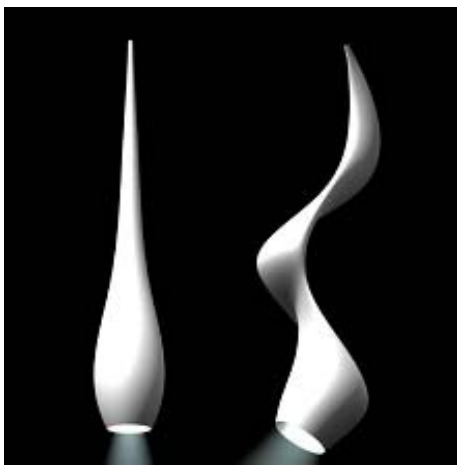


Figura 28 Estado Inicial y la forma después de 200 generaciones

(Dean, 2009, p. 80)

Micro o Macro mutación y cómo lograr un equilibrio en el proceso de transformación:

Así como en la naturaleza los pequeños cambios pueden generar grandes mejoras y por el contrario los grandes cambios tienden al fracaso, los pasos (rangos) en los parámetros deben ser pequeños tal como cada cambio en la evolución. Lo mismo podría decirse en cuanto al número de parámetros a ajustar en cada etapa evolutiva, que pueden afectar los resultados de cada nueva generación.

La evaluación de la funcionalidad y capacidad de fabricación:

Las formas iniciales bajo los parámetros padre se pueden fabricar sin restricción alguna, pero las siguientes generaciones pueden hacerlo cada vez más complejo, presentando problemas como superficies sobrepuestas, sección mínima de una capa o que no se puede exportar al código de impresión. De otra parte la funcionalidad, garantizada en el padre, en cada evolución debe ser evaluada, sea el agarre, el equilibrio, volumen para

partes internas y otros deben ser examinados. Todo ello para asegurar que cada generación se ajusta a la funcionalidad deseada.

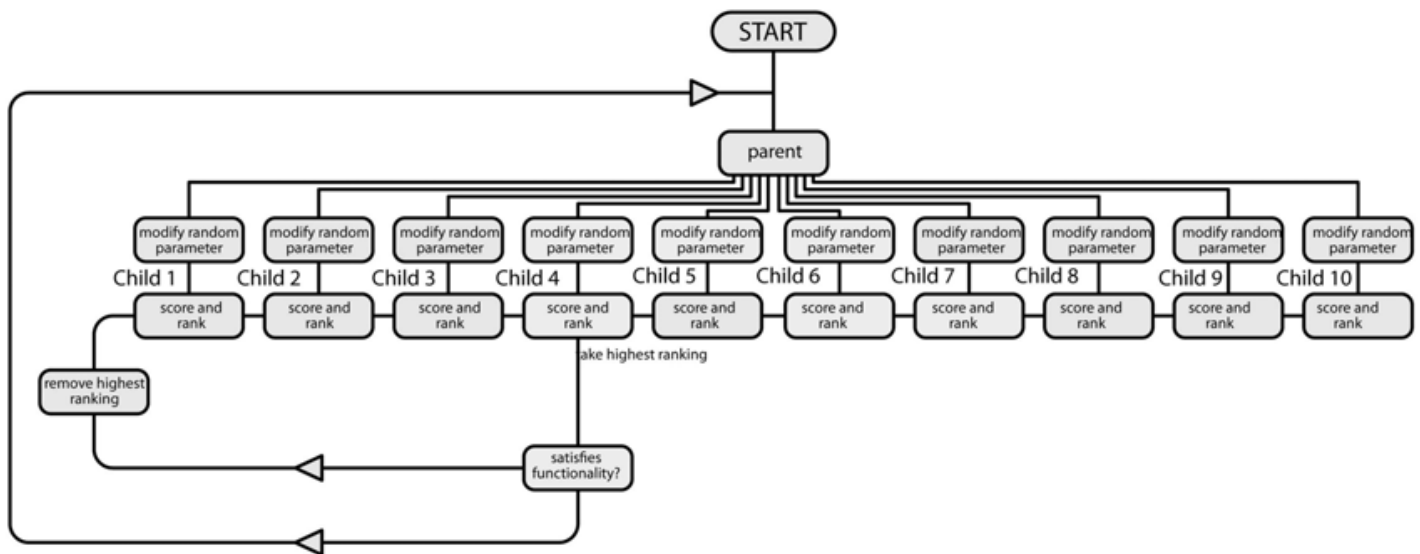


Figura 29 Comprobación de puntuación y funcionalidad

(Dean, 2009, p. 82) Modelo de evaluación de la fabricabilidad.

Dean plantea en la aplicación del modelo la analogía de la supervivencia del más apto dentro de los parámetros de funcionalidad, pero con los objetivos de alcanzar las intenciones de diseño, señalando que:

El mantenimiento de la intención del diseñador requiere un enfoque más abstracto, más relativa que evaluar la funcionalidad y la capacidad de fabricación. La Selección de Diseños basada en una puntuación relativa de criterios geométricos específicos, permite al diseñador expresar una imagen general para el diseño, en lugar de los límites absolutos. La noción de 'ligeramente torcida', por ejemplo, podría traducirse en una alta probabilidad de rotación, seguido por una disminución exponencial en la probabilidad de la rotación adicional después de cada rotación seleccionada. Al igual que en la evolución "supervivencia del más apto", los diseños con la mayor puntuación "más apto" prevalecerá. (Dean, 2009, p. 82) P 25

Los resultados del proyecto Future Factories si bien mostraron las capacidades del enfoque y la posibilidad de aplicación del sistema, también mostraron que las transformaciones dramáticas de las formas si bien producían una estética sorprendente no aportaba necesariamente a la funcionalidad. Del mismo modo el uso de múltiples variables simultáneamente en los cambios evolutivos se convierte en una tarea compleja, cuando por el contrario se busca simplificar y hacer más limpio el producto. Lo cual condujo a retomar geometrías simples matemáticamente definidas y tratarlas como bloques. Para ello

recurrieron al software Vritools (orientado a la creación de video juegos) especialmente por que es gratuito y de libre acceso y reseñan el Grasshoper como más sofisticado.

3.7.3 Forma paramétrica. (Arquitectura del diseño)

Se habla de la arquitectura de la información, la arquitectura de un sitio web y la arquitectura de las computadoras, ello refiere a la disciplina encargada del estudio, análisis, organización, disposición y estructuración de la información en espacios de información, o de los materiales técnicos y físicos de una estructura o sistema complejo, y de la selección y presentación de los mismos en los sistemas interactivos y no interactivos.

La arquitectura del diseño esta directamente asociada con los parámetros no solamente físicos–materiales–productivos sino de aquellos que surgen desde la percepción individual o colectiva, el entorno social y el entorno económico. Y desde estos parámetros se desarrollan las formas de los espacios y los productos, desde los componentes y piezas pequeñas, hasta las superestructuras.

La manifestación reciente del desarrollo paramétrico del diseño es la expresión directa de sus realizaciones, pero es la arquitectura que estructura todo el proceso de desarrollo, lo que transforma los modelos y métodos de diseño, y es al mismo tiempo lo que realmente impacta los resultados formales y todo su proceso de evolución y transformación. La forma paramétrica es entonces el resultado de la aplicación de modelos paramétricos que permiten el control de su evolución por medio de las variables que se introducen en su estructura y que han tomado un valor experimental importante en los últimos años.

Aunque muchas veces se ha tomado como una simple posibilidad más en el desarrollo formal y se especula con ello, la forma paramétrica seguramente será un punto de inflexión en el desarrollo de la determinación de la forma cuando se incorporen en su arquitectura tantas variables como sea posible, se conecte directamente con sistemas de comprobación, se programe en el mismo lenguaje de la manufactura digital directa y se establezca como siembra genética de una familia formal o una plataforma de productos, es decir cuando esta forma se estructure como Metaforma.

En el apartado siguiente (2.8) de esta tesis se tratara ampliamente el diseño paramétrico y en el capítulo final (5.3) se desarrolla por completo el concepto de Metaforma. Algunos ejemplos conocidos del desarrollo de la forma paramétrica en la arquitectura de los

últimos años son el Centro acuático de Beijín y el estadio nacional de Pekín, que bajo otros modelos de desarrollo habría sido prácticamente imposible su diseño y construcción.

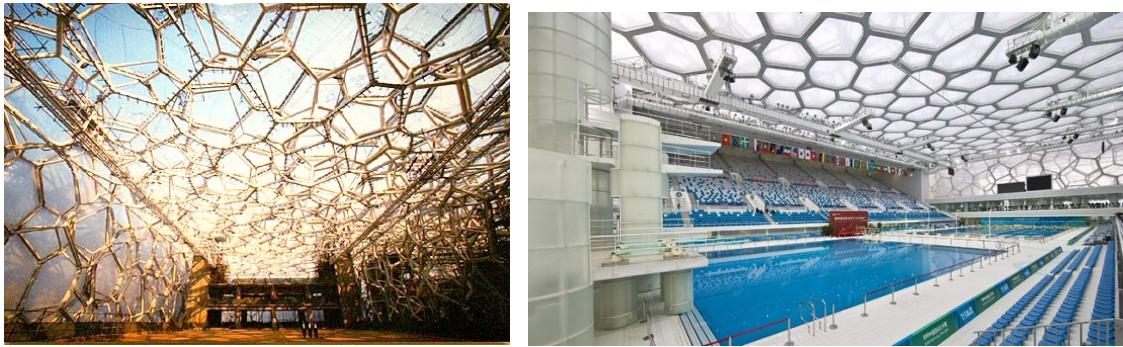


Figura 30 El Centro Acuático Nacional de Beijing

Conocido también como el "Cubo de Agua" diseñado por PTW Architects, CSCEC International Design & Arup y Structural Engineers Arup.



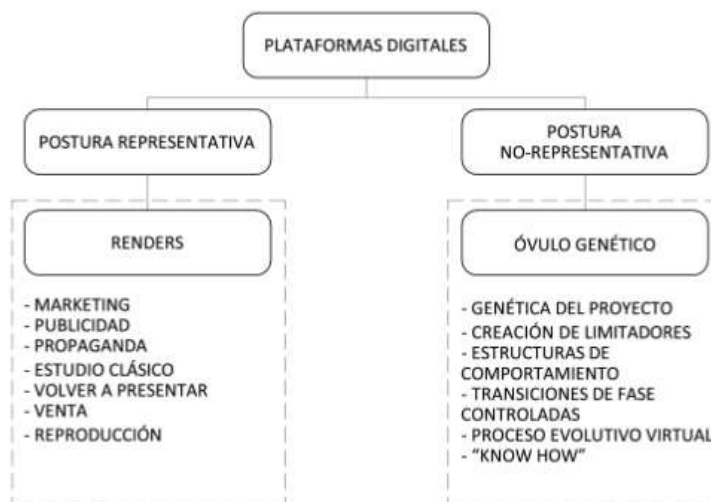
Figura 31 El Estadio Nacional de Pekín.

3.7.4 Aplicación morfo genética en diseño de productos

La nuevas forma de aproximación a los objetos, las interfaces de uso e interacción y el desarrollo tecnológico en los procesos de producción hacen necesarias nuevas estrategias para la generación de las formas en diseño industrial. Los paradigmas del diseño que han guiado hasta ahora la determinación de la forma, tales como que, la forma sigue la función, que la relación técnica, el uso y el entorno determinan la configuración de los

objetos, o más recientemente, la capacidad de personalización masiva, no son suficientes y muchas veces dejan la determinación de la forma a la inspiración y creatividad del diseñador.

Las herramientas digitales han pasado de ser meramente representativas, a ser espacios de investigación y desarrollo teórico conceptual, tanto en la ingeniería como en el diseño y la arquitectura, tanto que algunas plataformas digitales son verdaderos sistemas genéticos proyectuales que permiten proponer nuevas génesis morfológicas y proyectuales.



Cuadro 7 Las plataformas digitales.

(Miret, 2014, p. 5)

Actuar en el diseño del diseño o la arquitectura de la arquitectura es la nueva posibilidad que nos ofrecen los sistemas digitales apropiados desde una postura generativa, es actuar detrás del proyecto, en los medios para proyectar estructuras generativas que nunca o casi nunca se revelan y se hacen fundamentales dentro de los nuevos límites paramétricos. Santiago Miret (2014) citando a Alexander revela la presencia de esta relación morfo generativa, desde la mimesis de los organismos vivos hasta la relación matemática con su desarrollo, aplicada al diseño arquitectónico y de productos, lo que más adelante con el uso de herramientas informáticas se convertiría en la Generación Morfo genética.

La idea de genética proyectual no es nueva en Arquitectura... Christopher Alexander, en sus explicaciones sobre lo que es un sistema holístico, continuamente cita ejemplos de sistemas naturales. Pues, según Alexander, la naturaleza se

compone de sistemas holísticos. Los sistemas generativos de los que habla en su artículo de “Sistemas que generan sistemas” (Alexander, 1969, p. 34), son ni más ni menos que organismos vivientes. Su estrategia es la matemática y cómo ésta tiende relaciones interpretativas para con los organismos/sistemas naturales que componen el mundo en su totalidad. (Miret, 2014, p. 6)

Las posibilidades morfo genéticas que surgen de la mimesis natural mediada por los sistemas computacionales ha sido reconocida con un enorme potencial y si bien en muchos casos solo se ha aplicado de manera experimental, son muchos quienes vienen desarrollando modelos y métodos para su aplicación, y otros tantos investigando sobre su valor y sus resultados en el diseño de productos, como Camarero y Sarquis que en 1972 señalaban al respecto que:

“Nosotros consideramos que el ordenador no sólo es una herramienta, sino también método, y si es cierto que para muchas disciplinas ya se utiliza el método científico, en el diseño, como en otras, esto no ocurre, y el “empeñarse” en usar el ordenador, conduce a estudiar el problema con más subjetividad, analizando los criterios claros, dilucidando los procesos inconscientes de diseño.” (Sarquis & Camarero, 1972, p. 69)

Perspectiva morfo generativa que se ha desarrollado en la investigación y la experimentación en diferentes niveles y áreas, desde la producción artística, pasando por los objetos decorativos, hasta los proyectos de arquitectura y urbanismo de gran impacto. Las matemáticas como lenguaje abstracto de síntesis representativa de los fenómenos naturales y los medios digitales como herramienta, permiten la relación morfo generativa de los sistemas y los productos con los sistemas naturales, haciendo incluso posible hablar de familias de productos, como ya lo insinuaba Lynn en 1992.

... Greg Lynn ha sido un gran visionario, no sólo de la aplicación de metodologías digitales en la creación de forma, sino también en la constitución de una idea de biología arquitectónica. Sus planteos acerca de las similitudes de las organizaciones tectónicas con los organismos vivientes introdujeron en la disciplina términos como familias de proyectos o cuerpos orgánicos (Lynn, Multiplicitous and inorganic bodies, 1992). (Miret, 2014, p. 6)

Posiblemente por la novedad que ha implicado la aplicación de métodos científicos y la rigurosidad matemática en el desarrollo de la forma, y al mismo tiempo la intromisión de los sistemas informáticos en la arquitectura del desarrollo de los proyectos, se ha visto desbordada la capacidad de los diseñadores más tradicionales y se ha percibido más como un recurso generativo, pero no en su verdadero potencial como método de trabajo. Sin embargo la complejidad de los algoritmos necesarios para el manejo de los parámetros en la determinación de la forma, solo es posible apoyado en medios digitales y más importante aun, que hace posible enlazarla perfectamente con la complejidad de la forma y todas sus restricciones y condicionantes.

Serán necesarios nuevos modelos y nuevos conceptos que acerquen esta nueva circunstancia a la práctica del diseño y seguramente solo aquellos diseñadores que los adopten podrán ir a la par del desarrollo tecnológico y no solo hacer un uso como especulación estética o caer en el sinfín de posibilidades de generación. En palabras de Picon (2009) la morfo generación y el diseño asistido por ordenador *“no puede ser una exploración laberíntica de las casi infinitas posibilidades ofrecidas por la máquina. La forma puede transformarse indefinidamente, pero deben tomarse opciones, tienen que ejecutarse decisiones para romper la naturaleza teórica reversible de la manipulación digital”*, (Picon, 2009, p. 68) y debe permitir mantener el control del proyecto y de las relaciones entre los elementos y las reglas que median en ellos.

Por su parte Miret anota que: *“En la medida que mejor comprendamos a nuestro algoritmo, mayor será nuestro control sobre el artefacto de producción... ya que la enorme complejidad que puede adquirir el algoritmo, si no es desarrollado con los suficientes parámetros de control, termina produciendo maneras de aparecer de las cosas descontroladas e inútiles* (Miret, 2014, p. 8), por lo cual ha de sobre pasar la especulación formal y hacer parte de un modelo de trabajo que garantice tanto el control de la generación como la integración de las restricciones impuestas en el proyecto.

3.8 Diseño Paramétrico

La investigación en diseño debe procurar una mayor eficiencia, eficacia y facilidad en las actividades de diseño para mejorar la innovación y especialmente la gestión de recursos, apropiando modelos conceptuales y modelos matemáticos, dejando atrás la arraigada idea

de la iteración de los procesos en ciclos de diseño – desarrollo – prueba, en cada generación de productos, con la llegada de nueva información proveniente de pruebas de uso, factibilidad y viabilidad en un bucle permanente de retroalimentación; por ello modelos como el presentado por Yassine (2010) en donde se da un escenario conceptual de trabajo multi generacional de diseño paramétrico adaptado a los productos de consumo, “*Artisan-Patron framework AP*” (Yassine A. A., 2010, p. 541) que estructura información relevante capturada de la interacción fabricante-consumidor, para su uso en un modelo informático útil en múltiples generaciones, que a su vez se adapta según las preferencias de los consumidores, la competencia y los avances tecnológicos, permite aumentar la eficacia facilitando la gestión y motivando la innovación con el uso de modelos.

Comúnmente el rediseño de productos en múltiples generaciones se da por los cambios de gusto de los consumidores y los avances tecnológicos, lo cual revela para el diseño paramétrico que hay un proceso detrás de cada generación de productos, que la innovación es impulsada por la evolución de las preferencias de los consumidores, que las preferencias del consumidor cambian dentro de la dinámica del desarrollo tecnológico, que se da dentro de un marco de competencia entre las empresas y los diseñadores y finalmente que no tiene una lógica correspondencia con el marco económico predominante. Dentro del ejercicio del rediseño Otto y Wood (1998) encuentran tres enfoques de adaptación de los productos a entornos cambiantes “*diseño original, diseño adaptativo y diseño paramétrico*” (Otto & Wood, 1998, p. 227) en donde para el diseño original existe un conflicto con las necesidades del cliente y requiere de un concepto nuevo, para el diseño adaptativo son necesarios cambios en los subsistemas del producto y para el diseño paramétrico un modelo original que adopta nuevas configuraciones y se vuelve a calibrar de acuerdo a diversos criterios.

Diferentes perspectivas de la evolución de los productos y el rediseño de los mismos se orientan a registrar los valores del estado final frente al estado inicial en las iteraciones evolutivas de una misma generación, así para Ullman (1993) da cuenta de los cambios en la abstracción y el refinamiento del producto representado en los valores especificados, para Shooter et al (2000) un modelo de información de desarrollo de producto análoga al proceso de diseño y para Krishnan et al. (1995) representa la reducción de la incertidumbre de un parámetro en la evolución del producto, sin embargo para Yassine (2010) dicho modelo de información debe orientarse a múltiples generaciones de modelos de productos y más ampliamente como lo refiere Papalambros (2002) vinculando las decisiones de ingeniería de diseño y la valoración de la cartera de productos de la empresa.

Lo significativo de un modelo de información de la evolución de un producto es la relación que se establece entre los diversos parámetros que lo definen, entre otros, los propios del producto, su rendimiento o funcionalidad y las propiedades del mercado, con las funciones de transferencia que puede hacerse de estos y que permite predecir los rendimientos y la evolución de los atributos según los cambios del mercado.

Cualidades del diseño como la mutabilidad, la flexibilidad, la adaptabilidad y la posibilidad de reconfigurarse son valoradas dentro del diseño paramétrico y el reconocimiento de una arquitectura que da cuenta y permite esta variabilidad, le da validez; Engel y Browning (2008) *“describen un método (denominado diseño para la capacidad de adaptación) para evaluar si un sistema se puede actualizar fácil y económicamente sobre la base de su arquitectura y que muestra los resultados de la adaptabilidad en un aumento en el valor de vida del sistema.* (Yassine A. A., 2010, p. 544), del mismo modo las investigaciones sobre el diseño de sistemas capaces de evolucionar o sobre sistemas flexibles que se pueden reconfigurar en función de los entornos y cumplir con nuevos objetivos, reafirman las posibilidades del trabajo paramétrico, junto con otras que analizan las causas, efectos y costos de un cambio en el diseño (Eckert et al, 2004) o las que presenta los problemas y procesos con los cambios de diseño (Wright 1997)

En todo caso el diseño paramétrico parece adecuarse más a los cambios previsibles o esperados y los costos de esta flexibilidad dentro del sistema a corto plazo, que satisfacen dentro de un rango razonable a los gustos y necesidades del cliente, que a un sistema generativo verdaderamente flexible.

Tal como presenta Yassine (2010) el modelo Artesano – Patrón es una perspectiva que valora la potencialidad del diseño paramétrico en concordancia a las relaciones de valor tanto como evaluación del cliente como los costos para el productor; así lo que relaciona es, la crítica para los atributos de valor vinculado a un modelo de valor y las concesiones necesarias de las variables para hacerlo viable. Lo cual es una visión muy amplia desde la perspectiva productiva y empresarial, donde vincula los modelos de ingeniería, mercado, demanda, ambiental, precio, utilidad y otros, en un modelo de adaptación de diseño paramétrico que obedece más al mercado y al entorno productivo que a las cualidades propias del artefacto. Sin embargo señala que el modelo se convierte en multi generacional cuando el ciclo se reinicia modificando el algoritmo original en la aplicación sucesiva en cada generación de acuerdo a los cambios en el sistema, acercándose claramente al concepto de Metadiseño.

Patrick Shumacher propone el diseño paramétrico en la arquitectura como un nuevo estilo que responde a una dinámica recurrente en la práctica pero que no se ha desarrollado suficientemente como paradigma, Shumacher (2010) considera que se debe recurrir a la unidad en la diferencia como se dio entre épocas (Gótico, Renacentista, Baroco, etc.) y la autoconciencia del concepto de estilo, que ahora debe corresponder a programas de investigación como lo hace la investigación científica con el establecimiento de nuevos paradigmas, redefiniendo categorías fundamentales, propósitos y métodos, en un esfuerzo colectivo permanente; *el parametricismo es capaz de recuperar y mejorar los movimientos deconstructivistas dentro de una nueva capacidad para crear diversidad dentro de un orden complejo.* (Schumacher, 2010, p. 2) teniendo en cuenta que la separación y repetición dentro del orden moderno se está reemplazando con la diferenciación continua y la correlación entre los sistemas, lo cual es posible solo en el parametricismo.

Para la arquitectura la discusión está servida, en cuanto a la distinción entre épocas y estilos, entre estilos de transición y estilos subsidiarios y entre las prácticas globales como estilo unificado y las libertades de la pluralidad, el parametricismo propone desde su práctica una consistencia de principios, valores y aspiraciones que estructuran los fundamentos de un estilo global, aprovechando diversos esfuerzos que se construyen colectivamente entre sí. El parametricismo según Shumacher supone que todos los elementos arquitectónicos son paraméricamente ajustables y esto implica

“un cambio ontológico fundamental dentro de los elementos básicos, que constituyen la arquitectura. En lugar de la dependencia clásica y moderna en ideales (herméticos, rígidos) -figuras geométricas rectas, rectángulos, así como cubos, cilindros, pirámides, y semiesferas- las nuevas primitivas de parametricismo son animados (dinámicos, adaptables, interactivos) entidades geométricas - splines, NURBS, y subdivs - bloques de construcción geométricas como fundamentales para los sistemas dinámicos como el "pelo", "tela", "manchas", y "metaballs", etc., que reaccionan a los "atractores", y que se pueden hacer para resonar entre sí a través de scripts. (Schumacher, 2010, p. 4),

Y para ello la técnica fundamental son los guiones de las funciones (script), que manejan esta variabilidad y establecen las relaciones entre las propiedades de los diversos elementos, ofreciendo un nuevo orden complejo en los principios de correlación y diferenciación.

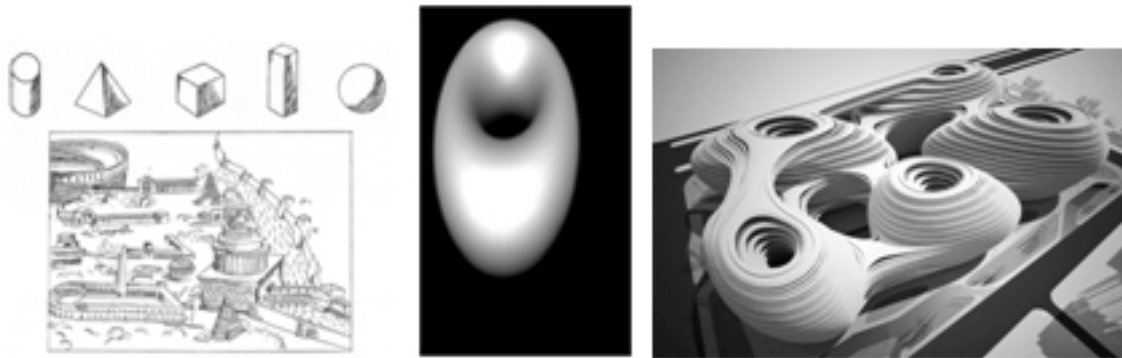


Figura 32 Ontología Clásica, Modernista y Parametricista.

Clásica / Ontología modernista Le Corbusier - Parametricist Ontología, Zaha Hadid Architects. (Schumacher, 2010, p. 5)

Shumacher (2010) establece definiciones verbales y operativas del parametricismo y en esta última refiere tanto a lo formal como a lo funcional por medio de normas, principios y evaluaciones, del desarrollo del diseño y del desempeño de mismo, estableciendo dogmas y tabúes.

Definición operacional:

heurística formales

principios negativos (tabúes):

Evitar las formas rígidas (falta de maleabilidad) Evitar repeticiones simples (falta de variedad) Evitar el collage de elementos no relacionados, aislados (falta de orden)

principios positivos (dogmas):

Todas las formas deben ser suaves (inteligente: la deformación = información) Todos los sistemas deben ser diferenciados (gradientes) Todos los sistemas deben ser interdependientes (correlaciones)

heurística funcionales

principios negativos (tabúes):

*Evitar los estereotipos rígidos funcionales
Evitar la zonificación funcional segregadora*

principios positivos (dogmas):

Todas las funciones son escenarios paramétricos actividad / evento Todas las

actividades / eventos se comunican entre sí.

(Schumacher, 2010, p. 6)

Si bien muchas de las obras desarrolladas bajo el “estilo” del parametricismo son experimentales y exploran las posibilidades tanto de diseño como de la eficiencia en su construcción y uso, todas ellas demuestran cualidades de alto rendimiento y la correcta articulación de diversas variables, desde la adaptación a las condiciones de un lugar hasta el uso de materiales y procesos constructivos, todos ellos ajustables por medio de los algoritmos.



Figura 33 Nordpark Cable Railway, Innsbruck, Austria

Photography by Werner Huthmacher



Figura 34 Galaxy SoHo, Beijing, China



Figura 35 Stone Towers, Cairo, Egypt

Los diferentes dominios y puntos de vista en el diseño y desarrollo de productos deben poder integrarse de manera consistente en donde sea posible introducir cambios y ajustes desde cada uno de ellos y esto requiere de un enfoque creativo para la creación y el mantenimiento dentro de cada dominio y cada punto de vista.

La tercera generación de CAD (Computer Aided Design) conocida como CAD Paramétrico es una de la herramientas claves de conexión entre los diferentes dominios responsables del desarrollo de productos, que enlazada con las técnicas de modelado de solidos representada en la impresión 3D y la manufactura digital directa, permiten solventar la demanda de mayor flexibilidad en los productos. Permitiendo tener lenguajes reutilizables del desarrollo de productos en estructuras graficas que ofrecen un marco lógico en donde implementar operaciones que adecuan los requisitos funcionales y las operaciones de procesos expresadas en modelos geométricos y analíticos, con las demandas de velocidad, calidad, costos y flexibilidad del mercado y los clientes.

Las “plantillas” de productos o marcos operacionales permiten generar productos específicos y personalizados con una calidad consistente y en un tiempo significativamente menor que los modelos tradicionales de desarrollo; la creación de estas plantillas según Cox (2000) debe cumplir con cuatro etapas fundamentales, primero el uso de la experiencia pasada para delimitar el espacio de oferta de los productos personalizables, segundo revelar el desarrollo previo del producto dentro de la plantilla, tercero crear los modelos paramétricos genéricos de todos los productos y artefactos y cuarto crear un mapa específico de cada modelo dentro del conjunto común de parámetros, haciendo de la plantilla un marco paramétrico, actualizable y reutilizable del proceso de desarrollo del producto que permite la personalización masiva dentro de una familia de productos.

Del mismo modo como la transición del proceso artesanal donde cada individuo realizaba la totalidad de las operaciones a una operación especializada por etapas, que sacrifico la flexibilidad por la eficiencia, la transición a la personalización en masa requiere de una transición que las equilibre, en donde los especialistas sean capaces de realizar diferentes operaciones en el proceso dentro del marco paramétrico, de tal modo que se produzca la personalización o semi personalización dados los límites establecidos. Cox (2000) presenta cuatro razones por las cuales se hace necesaria la creación de plantillas de productos:

“en primer lugar, el cambio de discriminadores de mercado como productos maduros; En segundo lugar, la necesidad de reutilizar el conocimiento del producto; tercero, los requisitos de rendimiento que provocan la separación de las actividades iterativas de las actividades de generación de artefactos en el proceso de desarrollo de productos; y en cuarto lugar, la necesidad de actualizaciones instantáneas mediante la propagación de la información de diseño de productos utilizando parámetros en lugar de la geometría.” (Cox, 2000, p. 6)

Esto supone que los productos maduros recogen en sí mismos un modelo de desarrollo de producto exitoso que debe ser recuperado haciendo que las actividades iterativas o ya conocidas se separen de las actividades generativas, estableciendo un marco de producto con tres partes, uno predictivo es decir lo iterativo, uno de creación de instancias del producto y finalmente uno de producción del artefacto, para lo que Cox (2000) propone tres cambios necesarios en la implementación de las plantillas de productos *“en primer lugar, la organización del proceso en un proceso jerárquico de plantilla; en segundo lugar, el desarrollo de modelos genéricos, actualizables de todos los artefactos; y en tercer lugar, la vinculación de los modelos genéricos de todos los artefactos con un conjunto común de parámetros”* (Cox, 2000, p. 9), lo cual permitiría dinamizar el proceso de desarrollo de los diferentes modelos asociados con un producto y progresivamente convertir estos modelos en genéricos que pueden ser actualizados paramétricamente.

Un ejemplo de la utilización de marcos paramétricos en los flujos de trabajo de la estética de diseño es el proyecto FIORES ((Formalization and Integration of an Optimized Reverse Engineering Styling Workflow) apoyado por el programa Brite-Euram de la comisión europea en Investigación y desarrollo Tecnológico IDT, el cual ofrece herramientas, métodos y procesos en el campo del diseño estético asistido por ordenador en donde se preserva la intensidad de diseño en todas las etapas del proceso de desarrollo del producto hasta su materialización, superando las dificultades de comunicación entre las diferentes personas y

etapas, apoyados en CAS (Computer Aided Styling) y CAAD (Computer Aided Aesthetic Design) como componentes del sistema CAD (Computer Aided Design).

Dankwort y Podeh (2000) sostienen que un cliente se decide a favor o en contra de una producto superando los factores de eficiencia, calidad y precio, por la apariencia externa del mismo, la cual es el resultado de una cadena de procesos más o menos generalizada: Paquetes de datos, Bocetos, Modelado 3D y Modelo físico, etapas que pueden ser apoyados por sistemas CAS y modeladores 3D que tienen como limite solamente los datos iniciales y los resultados de calculo para la producción, con lo cual se procede al diseño CAD de superficies de alta calidad, después de un proceso reiterado de mejoras y optimización.

Tres alternativas de aplicación de este flujo de trabajo son posibles según Dankwort y Podeh: *Definición de forma manual y optimización*, *CAS / CAD con la reconstrucción de superficies* y *CAS / CAD con un modelo virtual sin reconstrucción de la superficie* (Dankwort & Podehl, 2000, p. 19); en el primer caso la relación sensorial del diseñador con la superficie física del modelo reproduce las intenciones de diseño, pero se hace necesario transformar esto en datos fiables para el desarrollo y la producción, por lo cual se requiere de una digitalización y la operación con un sistema CAD. En el segundo caso, el uso temprano de sistemas digitales permite un mayor numero de posibilidades que pueden ser probadas tanto estética como técnicamente y especialmente la posibilidad de reutilizar los datos producidos en cada modelo ya que se pueden conservar como versiones digitales, aun cuando la calidad de las superficies CAS no sea suficiente para la producción y no como en el caso físico de modelos que se transforman sobre si mismos y no queda un registro real.

En el tercer caso se considera imperativo evitar la reconstrucción de las superficies y por ello trabaja idealmente en CAS / CAD pre visualizando en realidad virtual o proyecciones 3D, así las modificaciones se harán directamente en CAD con un respaldo de las “actualizaciones”. En todos los casos hay perdidas de información y perdida en la calidad tanto de los datos como de las superficies dado que aun no se esta preparado sensorialmente a los entornos virtuales y los modelos físicos no son eficientemente sustituidos, sin embargo el salto de descripciones de superficies a trabajar con nubes de puntos de alta precisión es equivalente al salto dado a trabajar con operaciones especializadas por etapas y equilibra la eficiencia frente a la flexibilidad.

Para poder trabajar directamente en CAD desde las etapas de diseño preliminares es necesario reconocer en el proceso de diseño el árbol de requerimientos del producto y el

árbol de la física del producto (Brun 2000) y cómo migran progresivamente los datos desde los requerimientos al producto físico mediado por el modelo geométrico generado; es decir a partir de los parámetros de las especificaciones la configuración del producto se hace consistente en la física del producto. En consecuencia de la complejidad del proceso de diseño y de los productos propiamente dichos el proceso de intercalar estos parámetros se debe simplificar vinculando *“descripciones funcionales de los modelos geométricos a través de características funcionales de forma parametrizada y más o menos idealizada. Dicho modelo idealizado puede eliminar detalles como filetes, surcos o agujeros, cuando no son relevantes para el proceso. Mientras tanto mantienen su existencia en el modelo como modificadores no instanciados de la forma... y permiten la restauración de la forma 3D completa”* (Brun, 2000, p. 47)

Las listas de requerimientos del producto contiene aspectos de viabilidad, requisitos no contradictorios y correspondencias con las necesidades efectivas y el árbol de la física del producto contiene el aspecto funcional y el aspecto material; las relaciones de las listas y las listas de listas (Arboles) generan ciertas uniones de coherencia funcional que podrían considerarse subproductos (Brun 2000) dentro de un marco amplio de relaciones funcionales y al mismo tiempo, considerando que la física del producto esta asociada directamente con los componentes físicos y sus cualidades espaciales, supone un enfoque de diseño concurrente al estar incluidos diferentes aspectos técnicos y estéticos.

Es importante reconocer que el diseño paramétrico y en especial el pensamiento algorítmico no están representados en el software en el que se desarrolla o la sintaxis de un script sino en la geometría, la topología, la iteración y la lógica sobre la cual se relacionan, de tal forma que un parámetro claro puede ser introducido en cualquier algoritmo y éste a su vez ser usado y reusado en diferentes sintaxis bajo software y sistemas diferentes.

Los procesos de diseño son comúnmente iterativos por medio de etapas de retroceso (feed back), refinamiento y rediseño ya sea para mejorar un producto existente o el desarrollo de una innovación, para lo cual comúnmente es utilizado software de modelado 3D para visualizar las ideas, pero los modelos son contruidos de tal manera que son difíciles de modificar de manera interactiva y al hacerse más compleja la geometría que los define, cualquier modificación requiere de un gran esfuerzo y tiempo de trabajo. Para hacer esta tarea dentro del proceso más eficiente, el uso de la geometría asociativa y paramétrica logran describir la lógica y la intención de diseño en lugar de la simple forma estática del producto, exigiendo un cambio fundamental en el pensamiento de diseño que va de la

manipulación de las representaciones a una lógica sistemática para codificar la intensidad de diseño.

El resultado de la forma paramétrica es la capacidad de reaccionar fielmente a los cambios de los usuarios, a las modificaciones geométricas como intensidad de diseño y especialmente a los cambios en las fuerzas estructurales, a los cambios de materiales y su comportamiento, a los cambios térmicos y en general a los cambios contextuales, con el valor añadido de estar en el mismo lenguaje o poder ser traducidos fácilmente a geometrías de fabricación digital directa; con lo cual apoya diversas tendencias del diseño y desarrollo de nuevos productos como: el desarrollo de versiones cuando surgen nuevas condiciones, la iteración que produce diferentes soluciones a partir de parámetros diferentes que pueden ser probadas fácilmente, la personalización en masa dada la capacidad de la fabricación digital que es capaz de introducir cambios en las instrucciones de fabricación de cada objeto o pieza y la diferenciación continua que permite introducir cambios dentro de un rango continuo o un ritmo establecido.

El pensamiento algorítmico, apegándose a la definición de Al-Juarismi²⁴ (780 – 850) de un algoritmo, como *“un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad. Dados un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución”*²⁵ implica un pensamiento metódico y una practica constante para lograr la complejidad, el rendimiento y las características estéticas de la solución de diseño resultante y al mismo tiempo producir algoritmos modulares, legibles y modificables.

Los sistemas de diseño paramétrico comparten varias características y construcciones, entre ellas: *la orientación a objetos, clases o familias, métodos y, por supuesto, los parámetros* (Jabi, 2013, p. 24), los objetos, bien definidos en el ámbito informático, corresponden en el diseño paramétrico a un conjunto de atributos y valores que lo determinan, por ejemplo un círculo está constituido por los atributos de localización a partir de su centro, el atributo del radio y comúnmente el atributo del nombre para su identificación, los valores de los atributos serán entonces introducidos según corresponda fijos, variables o a partir de funciones y la relación de dependencia que se puede establecer

²⁴ Abu Abdallah Muḥammad ibn Mūsā al-Jwārizmī, conocido generalmente como al-Juarismi, fue un matemático, astrónomo y geógrafo; persa musulmán, Jiva, Uzbekistán 780 Bagdad, Irak 850 Libros: Compendio de cálculo por reintegración y comparación

²⁵ <https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo>

entre los valores y los atributos de los diferentes objetos genera el potencial del sistema paramétrico asociativo. Las familias o clases de objetos surgen al compartir atributos y características que se pueden heredar o transferir, haciendo más fácil modificar un objeto “padre” que modificar los atributos y valores a cada descendiente. Los métodos son las diversas maneras de construir un objeto que pueden ser útiles en casos particulares, por ejemplo un círculo se puede construir a partir del centro y su radio, desde dos puntos tangentes o desde tres puntos que lo circunscriben, entre muchas otras posibilidades, así cada objeto podrá definirse por métodos distintos según corresponda a cada caso.

Los parámetros dentro de los sistemas paramétricos basados en programas informáticos se centran especialmente en la geometría y la topología, sin embargo dentro del pensamiento algorítmico para el diseño paramétrico son relevantes estos y otros más con los que se puede definir, aclarar y codificar la relación entre las intenciones de diseño y la respuesta de diseño, por ello es fundamental introducir diferentes tipos de parámetros dentro de los algoritmos que conecten con todos los aspectos del diseño.

Jabi (2013) en *Parametric Design for Architecture* propone varias categorías de parámetros entre otras posibles: Parámetros matemáticos, que son básicos y corresponden a números, valores lógicos y cadenas de caracteres que representan números. Parámetros geométricos, que son entidades constituidas con base en los parámetros matemáticos que definen por ejemplo líneas, superficies y sólidos. Parámetros topológicos, que describen la relación entre dos o más entidades, por ejemplo, conectado por, encima de, cerca de, dentro o fuera de, etc.

Estos parámetros son los que permiten la consideración de la forma, la composición y la fabricación definiendo la intensidad de diseño y cómo se relacionan las partes y el todo. Parámetros de representación, son aquellos que describen las entidades fuera de sí mismos con el propósito de representar objetos reales, es lo que distingue a un paralelepípedo y una pared de ladrillo de la cual se conocen sus propiedades físicas. Parámetros de materiales, que se apoyan en los parámetros matemáticos, geométricos, topológicos y de representación adicionando y conectando con atributos físicos como, peso, refracción, resistencia, elasticidad, etc. Lo cual permite explorar sobre los aspectos de rendimiento. Parámetros ambientales, que incluyen todas las fuerzas del entorno, tiempo, viento, temperatura, luz, crecimiento, erosión, etc. Parámetros humanos, los cuales intentan modelar comportamientos, intenciones y deseos, más allá de los atributos físicos y necesidades de los usuarios.

Identificar cuales parámetros incluir o no dentro de un proyecto, saber cuales excluir o sustituir y cuales son fundamentales para representar el modelo conceptual definido por el equipo de diseño, es el reto del diseño paramétrico y por ello es necesario tener apoyo en conceptos que permitan la articulación de la arquitectura paramétrica y regulen la incidencia de los diferentes tipos de parámetros, como se lo propone la Metaforma.

3.8.1 El desafío del Diseño paramétrico

En el enfoque paramétrico el diseño se estructura a partir del establecimiento de las relaciones entre las partes, a partir de ello se asignan parámetros a las diferentes entidades y a sus relaciones de dependencia, para luego construir, modificar y evaluar los resultados que finalmente se seleccionan desde los resultados obtenidos, con lo cual se evita rehacer el trabajo de representación para cada modificación y posibilita evaluar gran cantidad de variantes dentro del proceso sin trabajo adicional; esto supone que el diseñador debe partir desde el establecimiento y definición de las relaciones y sus parámetros asociados, con lo que controla las propiedades geométricas de las entidades, su posición relativa dentro del conjunto y sus interrelaciones para lograr la definición geométrica de conjunto.

Cristopher Alexander en *Notes on the synthesis of form* (1964) y en *A pattern language* (1977) se refiere a los patrones como aquellas entidades que describen los problemas recurrentes de nuestro entorno para luego describir el núcleo de la solución, permitiendo usar esa solución millones de veces sin hacerla dos veces de la misma forma. Con lo cual *los patrones se utilizan para dar forma a valores de decisiones cuya efectividad resulta obvia a través de la experiencia*, (Navarrete, 2014) y que difícilmente pueden ser documentados por la dispersión de las soluciones que lo apoyan y que aun así son utilizados ampliamente para reducir la complejidad de los problemas.

Entendiendo la complejidad como aquel tejido de componentes heterogéneos asociados que son al mismo tiempo lo único y lo múltiple, que son el tejido de eventos, acciones, interacciones, determinaciones y azares de la realidad presente, lo que Morin rescata en el pensamiento complejo para organizar de maneras alternativas y posibles soluciones a los problemas y que en la teoría del caos se ve representado en aquellos sistemas que son hipersensibles a los cambios de las condiciones iniciales.

Dentro de la estructura común de los proyectos de diseño paramétrico se pueden encontrar varios aspectos relevantes, en primer lugar el enfoque de proyecto es el diseño

del proceso y no de un resultado particular, y que el desarrollo de este proceso genera relaciones geométricas y matemáticas dentro de los mismos algoritmos que las relacionan entre si, en segundo lugar que se genera la posibilidad de relacionar las variables y los parámetros siendo manejados en tiempo real para observar los resultados y así poderlos contrastar con los objetivos y en tercer lugar que el diseño paramétrico permite generar respuestas que se adaptan a los cambios en cualquier situación y esto incluso se puede controlar desde un algoritmo.

3.8.2 Estrategias del diseño paramétrico basado en modelos

El proceso de diseño se ha intentado describir desde diferentes perspectivas y algunas particularmente, prestando especial interés en la etapa creativa, dado que en ella se centra la síntesis del ejercicio. La mediación de las herramientas computacionales en el ejercicio del diseño ha marcado al mismo tiempo la orientación de los estudios del proceso como tal, en la medida que éstas permiten, un modelado 3D flexible, las verificaciones de ingeniería, el control paramétrico de las variables, el registro evolutivo de las transformaciones, la elección de elementos estandarizados, la determinación de códigos de enlace para la manufactura digital directa y los programas de armado y ensamble.

El software para el modelado / diseño paramétrico facilita la resolución del problema de asignar la mejor combinación de valores a los parámetros necesarios para describir una alternativa del objeto de diseño (que se convierte en un problema de computo), sin embargo son necesarios modelos y estrategias que faciliten este proceso sin que exijan grandes conocimientos matemáticos o una multiplicidad de tareas.

A partir del análisis que hace Chaur (2005) de los modelos descriptivos, prescriptivos, cognitivos y computacionales del proceso de diseño, entre los cuales se encuentran: la Teoría General de diseño de Takeda (1990) en donde un modelo computacional evoluciona por la adicción de información hasta cumplir los requerimientos; el *Total Design* de Pugh (1996) que señala directamente las Especificaciones de Diseño como el vinculo entre diferentes disciplinas y como punto de partida hacia la solución por retroalimentación en etapas sucesivas de divergencia y convergencia; el modelo Co-evolutivo de Maher (2000) que se desarrolla a partir de un algoritmo genético, desarrollando genotipos y fenotipos con cruzamientos y mutaciones, y un modelo de la Sociedad Americana de ingenieros mecánicos en donde se especifica una etapa como Diseño Paramétrico, es posible identificar la necesidad de usar estrategias específicas para el

diseño paramétrico y por ello se reseñan algunas de ellas basadas en modelos.

Método de grafos dicromáticos MDG

La Sociedad americana de ingenieros mecánicos propone un esquema de cinco etapas en el proceso de diseño, Formulación del problema, diseño conceptual, diseño de configuración, diseño paramétrico y diseño detallado, pero Marrero y Martínez (2008) reducen éstas a dos grande etapas, el diseño conceptual que es de carácter estratégico, ya que allí se determina los parámetros más importantes y generales, y el diseño detallado donde se asignan valores a los restantes parámetros que concretan la descripción definitiva y detallada del objeto para su producción.

Para el desarrollo del diseño paramétrico es necesaria la formalización matemática y para ello puede ser utilizado Método de Grafos Dicromáticos que se apoya en modelos matemáticos y bien puede ser usado tanto en la etapa conceptual como en la etapa de detalles, de acuerdo a la propuesta de Marrero y Martínez (2008). Las funciones de modelos matemáticos permiten una correcta selección y establecimiento de los parámetros y las variables para las soluciones, ya que correlacionan Valores, Parámetros y Soluciones para obtener una Función Objetivo o Solución Óptima, que a su vez se puede establecer con diferencias, de acuerdo al grupo de trabajo u otros objetivos macro (mercado, competencia, otros.

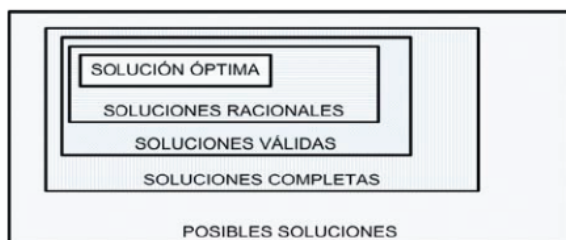


Figura 36 Marco de soluciones en MDG

(Marrero & Martínez, 2008, p. 43)

El uso del modelo de grafos dicromáticos plantea las estructuras de formulas de relación entre:

Parámetros de entrada, intermedios y de salida.

Variables de estado de entrada, intermedias y de salida

Variables en general, de entrada general y de control

Incógnitas intermedias en general, de salida en general y general

Relaciones de igualdad y desigualdad. (Marrero & Martínez, 2008, p. 43)

Dentro de un espacio multidimensional en donde se vinculan las variables, las relaciones y los dominios que componen la función objetivo y se desarrollan familias de posibles soluciones.

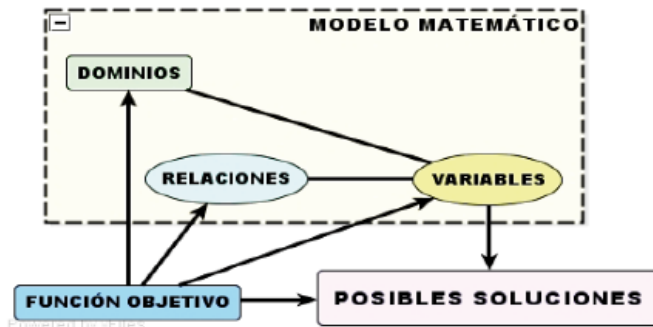


Figura 5 - Mapeo del espacio multidimensional $\langle V, D, R, FO \rangle$ en un conjunto de posibles soluciones.

Figura 37 Mapeo del espacio de soluciones.

(Marrero & Martínez, 2008, p. 45)

Dinámica paramétrica

Dentro de la dinámica de las empresas por responder a la presión de innovar con mayor velocidad, eficiencia y calidad, han encontrado en el uso de la dinámica de flujo computacional paramétrica CFD (Parametric computational fluid dynamics) una herramienta que permite optimizar el diseño, analizar el rendimiento del producto y al mismo tiempo identificar la influencia de diversos parámetros dentro del diseño, logrando una ventaja al hacer posible productos de diseño con mayor calidad. El análisis de la influencia de distintos parámetros dentro del diseño de un producto es un modelo que se ha usado desde los orígenes del diseño, ya que siempre ha sido necesario equilibrar los diferentes parámetros para tener cada vez un producto mejor, pero al introducir la dinámica de flujos en este análisis se gana especificidad y detalle en el impacto de cada cambio de los parámetros en el diseño.

La dinámica de flujo computacional paramétrica esta siendo usada por diseñadores e ingenieros de tres maneras distintas con las que se obtienen resultados complementarios (Tecnoplot, 2011): Predicción y optimización, al comprender la dependencia de las variables de salida en los parámetros de entrada se puede predecir el comportamiento del sistema y la configuración adecuada. Análisis de sensibilidad, que permite al diseñador cuantificar la influencia de cada variable de entrada en las salidas. Y análisis probabilístico, para examinar

el efecto de la incertidumbre en las variables de entrada sobre las variables de salida, para conocer el rendimiento y la robustez de un modelo específico.

Gran parte de ingenieros y diseñadores que desarrollan sus productos sobre una estructura paramétrica también usan la dinámica de flujo computacional paramétrica CFD dado que permite conectar con los intereses de las empresas de estrechar la integración del diseño con la fabricación, la comercialización y demás partes de la empresa relacionadas o no con el desarrollo del producto, haciendo el CFD una parte fundamental del proceso de diseño de producto. Tanto la gestión y la comparación de datos, como la evaluación de la calidad de la solución y la interpretación de tendencias y anomalías, son fundamentales para la comprensión del comportamiento global del producto, tanto como para el desarrollo y optimización del rendimiento de nuevos productos, y por ello la gran mayoría de herramientas de CFD se han concentrado en cinco categorías (Tecnoplot, 2011) Optimización del diseño, Gestión de datos, Análisis y visualización de metadatos, Visualización física y Gestión de simulación.

El avance y desarrollo del diseño paramétrico lleva consigo el uso de la dinámica de flujo computacional paramétrica CFD y por tanto el diseñador que use y comprenda mejor la física subyacente en los metadatos tendrá mayor capacidad de desempeño, por que es más fácil *“entender los fenómenos físicos que subyacen a las tendencias y anomalías en los metadatos, con la nueva generación de herramientas de análisis paramétricos CFD”* (Tecnoplot, 2011, p. 8) que con cualquier otra herramienta y con ello elevar el diseño y desarrollo de nuevos productos a un nuevo nivel.

Mejora estética del diseño por parámetros

La configuración y la apariencia de un producto están determinados por las funciones, técnicas, la estructura de construcción y las propiedades estéticas, pero hoy en día muchos de los consumidores otorgan igual o mayor importancia a las propiedades estéticas que a las funciones técnicas y ello impulsa un cambio desde la industria para responder al desarrollo del aspecto del producto con base a los sentimientos y valores humanos, por esto dentro de las variables del producto, los parámetros de la forma tienen una fuerte influencia en el éxito de un producto en el mercado ya que controlan la apariencia visual de los bienes de consumo. El diseñador debe garantizar el equilibrio en el cumplimiento de los condicionantes técnicos, estructurales, económicos y estéticos tanto en la mejora como en el desarrollo de nuevos productos.

A partir de un buen conocimiento del estado de la técnica y las tendencias del diseño, los diseñadores deben afrontar la complejidad del diseño de productos, y el diseño paramétrico es uno de los métodos y al mismo tiempo una de las herramientas más avanzadas para ello, ya que integra desde el diseño conceptual los diversos aspectos técnicos con las intenciones estéticas que dan la apariencia final del producto. Para esta integración es necesario revisar los flujos de trabajo y los métodos de diseño que puedan adaptar eficazmente las características del diseño paramétrico, sobre el modelo de Pahl, Beitz et al (1996), Wagner, Osorio y Silveira (2003) proponen dicha integración, desplegando el análisis de diseño paramétrico entre las etapas de concepto funcional y concepto formal.

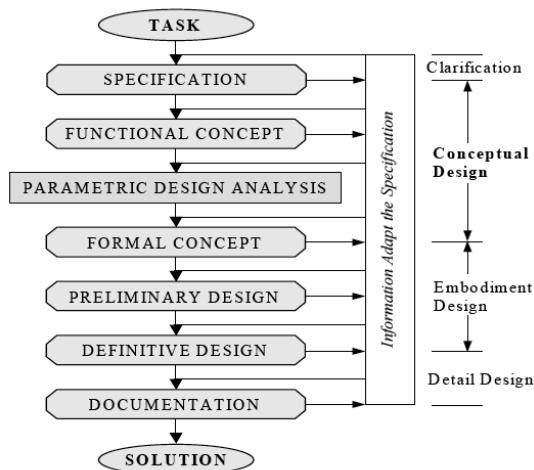


Figure 1. Design Process associated with Parametric Design Analysis

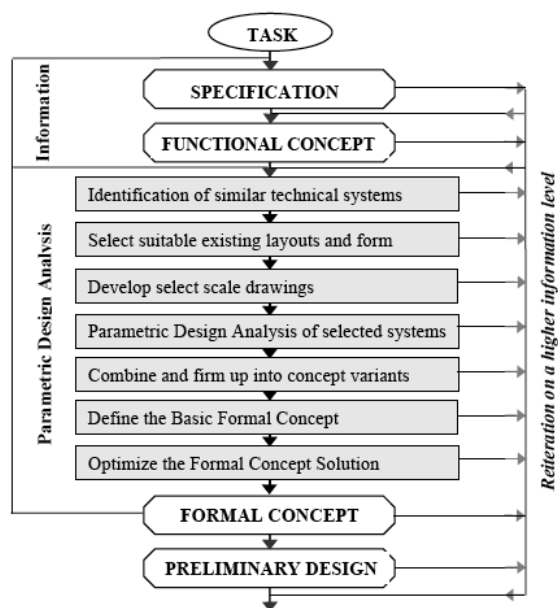


Figure 2. Steps of Parametric Design Analysis Phase

Figura 38 Integración de flujos de trabajo en diseño paramétrico.

(Wagner, Osorio, & Silveira, 2003, p. 2) (Wagner, Osorio, & Silveira, 2003, p. 3)

En donde la primera etapa de información que implica la aclaración de la tarea y el diseño conceptual, que parten desde los requerimientos, la identificación de los problemas esenciales, la subdivisión de la función general y la estructura de sub funciones y subsistemas, dando origen al concepto funcional; y la segunda etapa denominada etapa de análisis paramétrico del diseño donde a partir de la identificación de productos o conjuntos técnicos similares en los que diversos subsistemas o sub funciones se correspondan con aquellas en las que se busca una solución, se seleccionan y enfrentan a parámetros de evaluación cualitativa de los criterios estéticos que se corresponden a las especificaciones o resultados esperados.

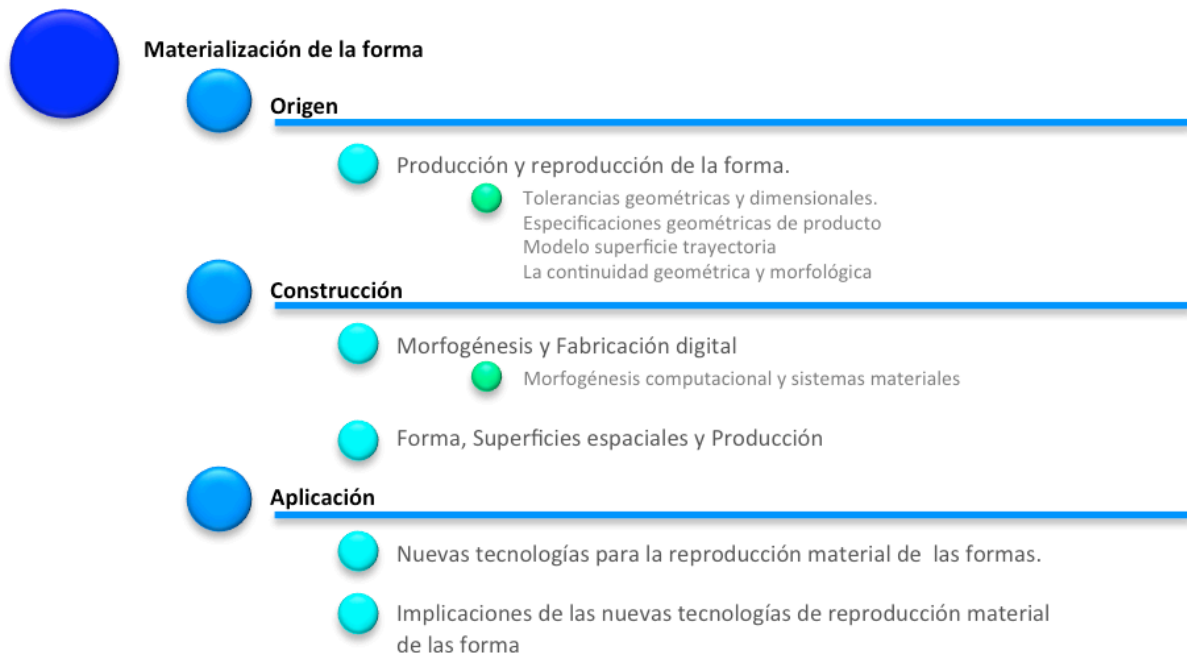
De acuerdo a Wagner, Osorio y Silveira (2003) de este modo se abandona un enfoque optimista y se adopta un enfoque critico y correctivo para el análisis de la estética, recurriendo para su aplicación al método de preguntas persistentes, que permiten identificar las funciones relacionadas que pueden sugerir nuevos conceptos formales, de tal modo que se asocian los criterios con directrices y métodos.

Criterio	Directriz	Método
<i>Estructura general de la forma</i>		
<i>Identificación de la forma</i>	<i>Identificación clara de la forma general</i>	<i>Variación sistemática de la estructura del producto y la configuración general</i>
	<i>Ordenación de los subsistemas de una forma verificable</i>	<i>Divida en zonas claramente distinguibles o grupo de subsistemas</i>
<i>La unidad de la Forma</i>		
<i>La integración de los subsistemas</i>	<i>Minimizar el número de formas diferentes</i>	<i>Componer e integrar arreglo para subsistemas</i>
	<i>Reducir al mínimo las variaciones de la posición de la forma</i>	<i>Orientación de los subsistemas lo largo del eje principal del producto</i>
<i>Armonía entre subsistemas</i>	<i>Apunta a formas y contornos similares</i>	<i>La integración de cada subsistema en piezas con contornos similares</i>
	<i>Apunta a la armonía entre el diseño y la Forma Diseño</i>	<i>Componer e integrar arreglo para la forma general, orientado por los contornos similares para cada subsistema.</i>
<i>Características de la forma estilística</i>		
<i>Expresión prevista</i>	<i>Compacidad: Objetivo de impresión máxima compacidad</i>	<i>Reducir al mínimo los requisitos de espacio de forma externa</i>
	<i>Suavidad: Apunta a un simple, uniforme y aerodinámico, pura y encarnar el estilo.</i>	<i>Reemplazar las esquinas agudas y las articulaciones por las esquinas redondeadas y juntas de filete, para cada subsistema y de forma global.</i>
	<i>Luminosidad: Objetivo para una máxima impresión de ligereza</i>	<i>área proyectada de subsistemas superiores más pequeña que el área de subsistemas menor</i>
	<i>Estabilidad: Objetivo para una máxima estabilidad impresión</i>	<i>centro de gravedad del área proyectada del sistema en general posicionado por encima y dentro de los límites de la base, o inferior subsistema</i>
	<i>Estilo deseado: Objetivo de rasgos estilísticos específicos para los mercados de destino (por ejemplo :: moderna, clásica y otros estilos).</i>	<i>Moderna: forma general compuesta por líneas curvas y esquinas redondeadas, Agresivos: Los bordes afilados combinan con aspecto aerodinámico, Clásico: forma general basada en líneas rectas, con una identificación clara del estilo específico formulario: forma general en base a características de formulario estilísticos específicos.</i>

Cuadro 8 Criterios de configuración básica de Estética, directrices y métodos

(Wagner, Osorio, & Silveira, 2003, p. 5)

4 MATERIALIZACION DE LA FORMA



La transformación de la materia en objetos y artefactos es consustancial al diseño y por ende a una determinación de los atributos formales, en otras palabras no hay forma sin sustancia, lo cual hace que la materia y sus procesos de transformación sean una preocupación de los diseñadores. Es por esto que en esta revisión de la determinación de la forma se haga indispensable reconocer las condiciones y circunstancias que permiten la materialización de las formas e identificar el impacto que tienen sobre el diseño de los productos.

Es evidente que el desarrollo técnico y tecnológico es quien ha permitido que haya una evolución en las formas de los productos, en la medida que han limitado y progresivamente facilitado el logro de geometrías cada vez más complejas y simplificado procesos que inicialmente eran muy complejos o imposibles. Es decir a mayor complejidad tecnológica mayor facilidad para el desarrollo de formas complejas y más accesibles los medios para lograrlas.

En este capítulo al igual que en el anterior se hace una revisión no exhaustiva de los condicionantes de la forma dentro de los procesos productivos, se relaciona la morfogénesis y la fabricación digital y se describen las diferentes tecnologías de Manufactura Digital Directa que se suponen dominaran los entornos productivos en el futuro.

A través de seis partes se hace un recorrido más bien descriptivo de las tecnologías y las condicionantes de la forma y al final se describen algunas implicaciones de las nuevas tecnologías en la determinación de la forma. Tres grupos de consideraciones se desarrollan, primero la *Producción y reproducción material de la forma*, que trata sobre la distancia que hay entre quien piensa un objeto y quien lo construye, el pensamiento de lo posible y sobre la reproducción más allá de la producción, retomando algunas ideas de Manzini, este apartado está complementado por cuatro partes, *Tolerancias geométricas y dimensionales*, que tratan del control del diseño para la producción, las *Especificaciones geométricas del producto* en relación a la norma ISO que determina la conformidad para la producción, el *Modelo superficie trayectoria* desarrollado por Molina Carmona para tecnologías de transición entre CNC y MDD, y *La continuidad geométrica y morfológica* que hace un análisis de la continuidad de las superficies para la producción desarrollada por Muñoz y López.

El segundo grupo de consideraciones que relaciona la morfogénesis y las superficies espaciales con la producción se divide en dos partes, la primera *Morfogénesis y fabricación digital* trata sobre la sustitución de lo estable por lo variable y la singularidad por la multiplicidad descrita por Kolarevik, y la responsabilidad del diseñador en la morfogeneración desde la perspectiva del Metadiseño, frente a la importancia, según Dean, de las relaciones más que las geometrías o las dimensiones; esta primera parte también trata la *Morfogénesis computacional y sistemas materiales* que revisa la articulación de los sistemas CAD – CAM y las herramientas de análisis sobre los modelos paramétricos y cómo afecta la forma de los productos según Menges, y los algoritmos genéticos como el ADN formal y la iteración como mecanismos de mejora.

La segunda parte de este grupo trata directamente las relaciones entre *Forma, superficies espaciales y producción* en donde se revisan las restricciones formales en función de las tecnologías, las categorías de formas según Muñoz y Coronel y las capacidades de los sistemas articulados de 3D – CAD – CAM y cómo las competencias de los diseñadores no son solamente instrumentales.

El tercer grupo de consideraciones dividido en tres partes, se ocupa en la primera de las *Nuevas tecnologías para la reproducción material de las formas*, en el que se revisa la evolución de los procesos de producción y cómo estos afectan la determinación de la forma, y la evolución de los sistemas de impresión 3D y manufactura digital directa, revisa los cambios de los productos y la producción según Barnatt, describe las ventajas de los

sistemas MDD de acuerdo a Hopkinson, Hauge y Dikens y el paso del diseño para la fabricación (DFM) a la fabricación del diseño.

La segunda parte de este tercer grupo se ocupa de describir los *Procesos de fabricación aditiva* en donde se encuentran los de *Base líquida, Base en polvo y base Sólida*, y señala algunas de las cualidades de las piezas que son posibles con cada uno de ellos. Finalmente la tercera parte trata de las *Implicaciones de las nuevas tecnologías de reproducción material en los procesos de determinación de la forma*, en donde se revisa el estado actual y las proyecciones de la Manufactura Digital Directa, las competencias necesarias y la formación necesaria que deben tener los diseñadores para aprovechar las ventajas de estas nuevas tecnologías y finalmente los retos que impone la MDD según Rosen, Stuker y Comb.

La materialización de las ideas en productos, implica un proceso creativo que necesariamente debe conectar todo el conocimiento teórico, estético, práctico y tecnológico bajo una única estructura de intercambio y discusión, sobre la cual diversos profesionales puedan intervenir para moldear a través de la forma todas las intenciones de diseño bajo un control tanto flexible como preciso y que aproveche todas las ventajas generadas por los sistemas de manufactura digital directa. Un concepto como la Metaforma logra esta misión, conectando dentro del entorno digital estructuras y modelos de trabajo de las diferentes disciplinas (sin modificarlos) y facilitando la interacción para una respuesta rápida y eficaz a las demandas de la industria y el mercado.

4.1 Producción y reproducción material de las formas

Transformar la materia del medio ambiente en útiles y herramientas no es una capacidad exclusivamente humana, abejas, termitas y castores no tienen mucho que envidiar a un ingeniero, por el contrario el ser humano tomó miles de años para comprender como aprovechar los recursos y aun a pesar de la ciencia y la tecnología desconoce mucho de cómo lo hace la naturaleza. El homo sapiens cuando empieza a separarse del entorno e identificarse como sujeto, cuando puede pensar en el objeto y puede hablar de él, da un salto significativo hacia la técnica; como lo describe Manzini diciendo que:

“La historia del homo sapiens emerge de este larguísimo periodo de casi identidad entre el sujeto y la materia, y, a lo largo de la relación técnica-cultura asume el aspecto de un gradual proceso de separación entre el yo que piensa y la materia sobre la que actúa: los recorridos del proyecto se mueven sobre un plano

inclinado que va de la tecnicidad casi zoológica a la relación con una materia que se identifica con un sistema de códigos, de lenguajes, de relaciones entre modelos” (Manzini, La materia de la invención. Materiales y proyectos, 1993, p. 47)

La capacidad del hombre de imaginar, por la evolución de su mente, le permite construir a partir de un imaginario, soluciones a sus necesidades y al poseer una mano que esta habituada a tratar y transformar la materia (técnica), da comienzo al proceso de lo imaginable-posible, *“pensar lo posible constituye la base de toda actividad proyectual”* (Manzini, La materia de la invención. Materiales y proyectos, 1993, p. 48), esta integración de lo imaginable con la técnica crea objetos nuevos y permite al hombre generar un entorno adaptado a sus necesidades haciendo uso de los recursos disponibles.

Es bien conocido cómo éste proceso ha desarrollado la creatividad, la innovación y la capacidad proyectiva del hombre, pero justamente estas posibilidades permiten rumbos distintos, mientras la proyectación se apoya en cualidades del contexto geográfico, natural, social y cultural, la innovación se centra y busca independientemente algo nuevo; esto se puede evidenciar al hacer un recorrido por la historia de la creación humana, la división del conocimiento, la especialización e hiper especialización del conocimiento y del trabajo, poniéndolo de manifiesto en la distancia que ha tomado quien proyecta de quien construye; es posible que quien proyecta poco conozca del cómo y con qué se produce.

Para los creadores la manifestación de sus conceptos e ideas se da a través de los objetos, sean formas bidimensionales o tridimensionales, la configuración y todas las cualidades perceptibles se soportan en materiales manipulados y transformados en menor o mayor medida por una técnica particular, lo cual produce la conjunción de propiedades de los materiales, las ideas, la técnica y las formas.

Si bien para un artista el dominio de la forma queda limitada a la posibilidad técnica de su producción para el diseñador debe ir hasta la *reproducción*, por tanto, ella se debe adicionalmente a los procesos técnicos y tecnológicos sobre los cuales se pretende reproducir.

El equilibrio, la continuidad, la expresividad, el acento y otras cuantas cualidades atribuibles a una superficie o a una curva como parte de la configuración de una imagen o un objeto, son en parte aquellas que hacen del trabajo del diseño un ejercicio creativo y esencialmente expresivo; sin embargo la determinación de las cualidades de esa curva o esa superficie también tienen un asiento fundamental en la posibilidad de ser reproducidos,

es decir que se pueda determinar con precisión su estructura en un plano o en el espacio, asumiendo así su control.

Un aspecto considerado recurrentemente en la descripción del ejercicio del diseño como disciplina o incluso en las diversas definiciones de diseño, en cualquiera de sus especialidades, industrial, gráfico, de interiores, arquitectónico y otros, es lo relativo a la forma y su determinación, por tanto hace suponer que los diseñadores son obviamente expertos en al menos este aspecto en común, es decir que tienen una competencia desarrollada en la determinación de la forma.

Ahora bien un asunto es tener la destreza o habilidad de trazar líneas o generar superficies que respondan visualmente a la unidad de un conjunto formal con un propósito previamente establecido, lo cual puede ser el caso de una pintura o una escultura, y otra muy particular el que estas curvas y superficies deban ser reproducidas sistemáticamente por diferentes medios técnicos o tecnológicos. Es en este punto donde se hace necesario el dominio y control de tales líneas y superficies por medio de una estructura clara de construcción, manipulación y reproducción, sin ello serian formas resultado de una especulación visual (seguramente apoyadas en la experticia del diseñador y su buen juicio) pero no como parte de ese conjunto de cualidades que debe cumplir un objeto de diseño construible y reproducible.

Esta preocupación ha estado siempre presente en la formalización del ejercicio del diseño, es decir cuando se intenta generar tanto el marco teórico conceptual que lo caracteriza como disciplina, de lo que se ocupa y sus alcances, como de su practica y las competencias necesarias para su ejercicio; ya desde sus inicios como practica reconocida, han sido muchos quienes han contribuido a estructurar estos aspectos.

El desarrollo del diseño como disciplina ha impulsado el trabajo interdisciplinario, aportando por ejemplo desde la ingeniería los procesos de manufactura y el conocimiento de los materiales, y desde la sociología la identificación de los rasgos culturales y costumbres, para el logro de sus objetivos y cada vez se acerca más al trabajo transdisciplinario en donde la labor no se concentra tomando como base el conocimiento de una u otra disciplina sino en el “proyecto” y se hace cada vez mayor el conocimiento transversal entre disciplinas y por ello se entiende que si bien *“en otros tiempos el diseño estaba subordinado a la manufactura mientras la creatividad se hallaba condicionada por toda una serie de factores (entre los que contaban muy especialmente las limitaciones y costes de moldeo) aunque en la mayoría de los casos esto siga sucediendo, la*

manufacturación se ha convertido en otra herramienta a disposición del diseñador. (Lefteri, 2008, p. 6), hoy es indispensable la participación activa de las diversas disciplinas

El trabajo transdisciplinario coloca al diseñador en conocimiento de la dinámica y evolución de la técnica y la tecnología haciendo posible que sus aportes creativos no sean marginales o sean asumidos por otros, todo ello derivado del control que ahora asume del propio diseño y de los medios de producción. Podría decirse que si en su momento las nuevas herramientas de los artesanos eran las maquinas y con ellas pudieron desarrollar procesos y diseñar nuevas maquinas más complejas, las herramientas de hoy en día pueden reconfigurarse para hacer otras aun mejores.

Algunos aspectos que entran en consideración en el diseño de productos y que surgen del trabajo colaborativo, que condiciona el desarrollo de las formas y la configuración del producto para su reproducción industrial son: Las tolerancias geométricas y dimensionales, los modelos superficie-trayectoria, la continuidad geométrica y morfológica y el modelado geométrico paramétrico, que podrían estar concentradas en las Especificaciones Geométricas del Producto GPS.²⁶

4.1.1 Tolerancias geométricas y dimensionales (GD&T)

Las GD&T tiene origen en la producción de piezas de recambio de equipo militar durante la segunda guerra mundial, allí se hizo evidente la necesidad de un mayor control del diseño y producción de partes que debían acoplarse con precisión para hacer efectivo el armamento y la maquinaria y desde 1940 las empresas empezaron a utilizarlo para eliminar la ambigüedad de dibujos y planos, las GD&T son indispensables en el sector productivo actual, en donde las partes y piezas de los productos se desarrollan en diferentes fabricas y lugares en el mundo y solo a partir de unas tolerancias geométricas y dimensionales unificadas se hace posible el ensamble y perfecto acople de las partes de un producto final.

Las GD&T son un “idioma” internacional que por medio del dibujo describe el tamaño, la forma, la orientación y la ubicación de las características de la pieza que permite definir como funciona el producto para su ensamble y montaje, con absoluta precisión; todo ello con el propósito que los ingenieros de proceso puedan determinar el mejor método de fabricación, hacer seguimiento de la calidad y la verificación de las piezas.

²⁶ Estas se han recogido en la Norma ISO 14253-1:2013 que establece los requerimientos para la inspección y medición de piezas de trabajo y equipos de medición, así como las normas para aprobar conformidad o inconformidad de especificaciones.

4.1.2 Especificaciones Geométricas del Producto GPS

La norma ISO 14253-1: 2013, establece las normas para determinar la conformidad o no conformidad con una tolerancia dada para una característica de una pieza de trabajo (o una población de piezas de trabajo) o límites de los errores máximos permitidos para una característica metrológica de un equipo de medición, teniendo en cuenta la incertidumbre de medición. Estas reglas son diferentes para las tolerancias a piezas individuales y tolerancias para las poblaciones de la pieza de trabajo, también fija normas sobre cómo hacer frente a los casos en que no se puede tomar una decisión clara (conformidad o no conformidad con la especificación), es decir, cuando el resultado de la medición se encuentra dentro del rango de incertidumbre que existe en torno a los límites de especificación.

GPS ISO 14253-1: 2013 sólo se aplica a las características expresadas en valores numéricos de cantidad.

4.1.3 Modelos superficie-trayectoria

El modelado 3D paramétrico ha tenido un desarrollo acelerado en los últimos años debido a su amplia acogida en la industria y el enorme potencial para el diseño, la ingeniería y la manufactura de los productos, a pesar de que requiere de grandes conocimientos y capacitación que en la mayoría de los casos no tienen los diseñadores; es por ello que se crean productos o módulos especializados que armonicen coordinadamente bajo una misma plataforma el trabajo de los diferentes expertos.

Estos programas de modelado 3D son particularmente importantes dado que los modelos geométricos como métodos y estructuras de datos para diseñar, manipular y guardar objetos geométricos son responsables de las características del sistema de diseño y fabricación y han avanzado mucho en la interface de usuario, haciéndolos cada vez más intuitivos permitiendo reconocer los gestos formales en las superficies y volúmenes. Sin embargo cuando se enfrentan a la fabricación en donde las maquinas deben seguir trayectorias sobre la geometría del objeto aun sigue siendo un problema y depende más directamente del modelo geométrico del sistema, es posible que un objeto diseñado por un sistema CAD CAM no pueda ser fabricado automáticamente por que sus trayectorias son imposibles.

Los dos modelos geométricos generalmente utilizados, CGS (Geometría solida constructiva) y BRep (modelos superficiales) presentan dificultades dada su generalidad que sacrifica la sencillez, la alta capacitación para su manejo y la falta de correspondencia entre las limitaciones del diseño y el trazado de superficies y trayectorias con su mecanizado.

Existen modelos geométricos Superficie – Trayectoria que relacionan íntimamente el proceso de diseño con el de fabricación, garantizando la calidad de la pieza dado que esta diseñada para ser fabricada por una herramienta de mecanizado que sigue la geometría de las formas determinadas en el diseño; estos modelos Superficie / Trayectoria pretenden lograr tanto objetivos de diseño como de fabricación y costos, que, aunque presentan limitaciones por estar orientados a empresas de bajo nivel tecnológico, cubren un numero importante de empresas en diferentes sectores industriales.

En el modelo Superficie – Trayectoria desarrollado por Rafael Molina, éste destaca que *“la definición de las superficies y de las trayectorias esté basada en modelos matemáticos exactos, lo que confiere a los objetos que podamos diseñar una representación exacta. Por otro lado a diferencia de otros modelos clásicos es un modelo orientado a la fabricación y no a la visualización”* (Molina Carmona, 2002, p. 62) y con ello revela tanto las ventajas del modelo como las limitaciones que aun presentan los sistemas de fabricación y las restricciones formales que ello implica para el diseño y la determinación de la forma de un producto.

4.1.4 La continuidad geométrica y morfológica

El control de la continuidad geométrica y morfológica es un factor determinante en el diseño del producto, la mayor o menor continuidad morfológica puede responder a factores distintos a los visuales y tener un impacto importante en la resistencia estructural de un objeto, la velocidad en la producción y los costos finales. Esto se puede verificar especialmente en la inyección y moldeo de plásticos y metales de piezas sueltas o acopladas.

Es de especial cuidado el manejo de las superficies, especialmente en la transición de superficies de características distintas (cóncavo- convexo, recto – curvo, uniforme – progresivo, etc.), y cómo estas, que responden a características funcionales y perceptuales, pueden ser analizadas con herramientas digitales para su adecuado desarrollo y producción.

Las herramientas de los sistemas CAD median entre el conocimiento morfológico y geométrico, con el análisis de las superficies, y usan una escala progresiva de continuidad que involucra posición, tangencia y curvatura para lo que ofrecen herramientas como el Análisis de Cebra que permite leer sobre la superficie los tipos de continuidad.

Esta relación ha sido tratada desde la perspectiva de la generación de la forma y asociada a los sistemas productivos predominantes, lo cual permite prever el comportamiento de los materiales según la continuidad de la superficie con herramientas como el análisis de elementos finitos en una configuración específica, para ajustar una fabricación adecuada de la pieza.

En este análisis de continuidad de superficies, Patricia Muñoz en su cátedra de Morfología en la Universidad de Buenos Aires, establece, *"los distintos modos que asumen las superficies complejas en la práctica proyectual e Identifica cuatro procesos diferenciados: 1. Como intersección de formas 2. Como unión de superficies simples 3. Como movimientos complejos de una generatriz y 4. Por transformación de puntos de control en mallas.* (Muñoz & López, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires, 2013, p. 3) , lo que permite ver la estrecha relación de los sistemas de modelado 3D con sus posibilidades y restricciones con las demandas de los diseñadores para adaptar sus creaciones a los procesos productivos. Se hace necesario que los desarrolladores de los programas se acerquen y comprendan las actividades morfo generativas de los diseñadores y se disminuyan las distancias entre unos y otros para potenciar las dos actividades.

4.2 Morfo génesis y fabricación digital

Las herramientas digitales han proporcionado los medios para establecer lógicas generativas de la forma que a su vez produce automáticamente diversas posibilidades apropiadas a los parámetros establecidos; permitiendo al diseñador elegir entre ellas las que se articulen conceptualmente al marco de interacción concreto.

Éstos modelos de diseño dinámicos reemplazan los procesos convencionales que tomaban como base geometrías elementales como cilindros, cubos, conos, esferas y superficies de las mismas y se generan con la misma facilidad permitiendo la variabilidad y la personalización; lo que describe Kolarevik, diciendo que:

“Los procesos generativos digitales están poniendo en marcha nuevos territorios para la exploración conceptual, formal y tectónica, articulando una morfología arquitectónica centrada en la emergente adaptación de las propiedades de la forma. Los cambios de énfasis desde el “hacer la forma” al “hallazgo de la forma”, que diversas técnicas generativas basadas digitalmente parecen llevar sobre intencionalmente. En el reino de la forma, se sustituye lo estable por la variable, la singularidad de la multiplicidad”. (Kolarevik, 2012, p. 13)

Dean (2009) introduce las cualidades de la fabricación digital y la fabricación de personalización masiva en las prácticas de morfo génesis y las competencias digitales de los diseñadores. El desarrollo de Meta diseños que a partir del modelado paramétrico CAD permiten introducir dentro de la fabricación programas que cambian en tiempo real ciertas cualidades bajo límites de los productos.

Reconociendo que la fabricación digital no rentabiliza la producción masiva, esta tiende a la flexibilidad en el diseño en tiempo real, lo que requiere fuertes bases en programación y el establecimiento de “meta Diseños” que admitan la adaptación bajo un mismo proceso de fabricación. Esto al mismo tiempo implica de una parte un compromiso inicial del diseñador en la generación de los productos desde esta perspectiva y las correspondientes habilidades para ello y de otra parte que las piezas producidas puedan ser consideradas como únicas, ya que se encuentran en el límite de piezas artísticas y artefactos industriales.

El prototipado rápido y la fabricación rápida han permitido reducir los ciclos de diseño – fabricación eliminando etapas de alto costo que limitaban la flexibilidad, por tanto generan una evolución importante hacia lo que se puede denominar diseño paramétrico de flexibilidad controlada, ya que:

Más que la definición de una forma discreta, el diseñador podría crear un diseño capaz de “meta azar”, cambiar automáticamente. Esta plantilla de diseño produciría una cadena de resultados únicos, cada uno de los cuales sería obligado a permanecer fieles a la intención de los diseñadores y de la identidad del producto deseado. (Dean, 2009, p. 23)

Esta perspectiva requiere del dominio del sistema CAD en una gama en donde no son tan importantes los valores numéricos como las relaciones de dichos valores en la geometría, junto con la programación de secuencias o comandos que le dan flexibilidad a las piezas y la producción; lo cual conlleva al desarrollo de la variedad afectando la forma, la escala, la proporción, la textura e incluso los patrones.

La visión de fabricas futuras (Dean, Britton, Marshall, Atkinson y otros) evidencia el rompimiento con las maneras establecidas de producción en donde una forma estable y establecida se reproducía mecánicamente, en donde si bien el desarrollo creativo y estético es una carga alta en el objeto, éste es un objeto común, a diferencia de los objetos trabajados a mano en donde las pequeñas diferencias generan respuestas emocionales en los individuos, lo que sería posible al ser fabricados digitalmente.

En un momento dado un producto de elección se congela para crear un diseño único que puede ser ordenado en pantalla, fabricada digitalmente, y entregado a la puerta. Un original ... Una sola vez ... Un obra de arte? (Dean, 2009, p. 24)

El proyecto de Future Factories tiene en cuenta que el desarrollo de los medios de fabricación digital tienen al menos dos décadas de retraso frente a la representación digital (virtual) de objetos 3D y toma como base a los artistas y diseñadores que han concentrado sus creaciones en este espacio virtual pero con la expectativa de su materialización haciendo énfasis en el proceso de generación y creación digital.

4.2.1 Morfogénesis Computacional y Sistemas Materiales

La doble condición del diseño digital que permite no solo incorporar los procesos de fabricación de los espacios y las estructuras, sino también las condiciones climáticas y de interacción con el entorno, permite superar la especulación meramente formal para la que han sido utilizadas mayormente las herramientas digitales y exige de un lado la incorporación de perspectivas especializadas dentro del proceso, como de miradas transversales que ayuden al logro del objetivo común del desarrollo proyectual.

Menges considera los sistemas materiales como conductores generativos en el proceso de diseño incluyendo sus *“características materiales, comportamiento geométrico, las limitaciones de fabricación y montaje lógicas, dentro de un modelo computacional*

integral” (Menges, 2007, p. 725). lo cual promueve *“la comprensión de la forma, el material, la estructura y comportamiento no como elementos separados, sino más bien como interrelaciones complejas”* (Menges, 2007, p. 725)

El diseñador debe considerar el marco de posibles “formaciones” bajo un modelo computacional (diseño paramétrico) y no como una percepción particular de cómo considera que debería ser la forma; modelo que permanece abierto permitiendo la incorporación de herramientas y medios de análisis de diferentes factores que al mismo tiempo traen sus restricciones, afectándose unos a otros.

Los sistemas CAM deben adaptarse más allá de facilitar y agilizar la producción, incluso con la personalización masiva, hacia ser parte del desarrollo del enfoque de diseño que sintetiza los procesos de generación de la forma y su producción, para lo cual Menges anota que:

En general se puede decir que la inclusión de lo que puede ser denominado como características y limitaciones intrínseca del sistema comprende el primer componente crucial del set-up computacional, definido a través de una serie de parámetros. La definición de la gama en la que estos parámetros se pueden operar, y sin embargo, siguen siendo coherentes con las limitaciones materiales, de fabricación y construcción, es la tarea fundamental para el diseñador en esta etapa. (Menges, 2007, p. 730)

Las herramientas de análisis dentro del proceso de diseño son esenciales ya que revelan tanto las capacidades estructurales y ambientales como las tendencias en el comportamiento de los materiales y la geometría de las formas planteadas, como consecuencia de la interrelación y dependencia que se genera en la retroalimentación de cada una de las herramientas al introducir cambios o nuevos parámetros en cualquiera de ellas. Teniendo control sobre todo el proceso y un registro de los pasos y etapas subsecuentes y su incidencia sobre el producto, en donde se valoran las tendencias sobre las influencias de cada parámetro y no necesariamente los valores absolutos que arroja como resultado.

Los resultados de esta relación e integración entre herramientas de análisis puede considerarse restrictivo e ir en contra de las posibilidades morfo genéticas, pero justamente debe tomarse como orientador y no como condición absoluta de rendimiento de una relación forma – estructura- materia – ambiente, tampoco como guía hacia el objeto “ideal” ya que

éste posiblemente se encuentre en un promedio de valoraciones que lo deje inadecuado aunque cumpla medianamente con todos los parámetros, así que será el diseñador quien con una visión amplia y con una nueva conceptualización de la evaluación de criterios múltiples pueda ejercer en la toma de decisiones.

Son las diferencias (incremental, generalmente) y los cambios lo que empujan el desarrollo morfo genético y por su puesto las etapas que sugieren estos cambios. Es decir una vez establecidos los parámetros de cada aspecto (resistencia, capacidades materiales, agentes externos) que afectan una estructura (formal), las variables que se introduzcan serán la génesis que permite operar el sistema morfo genético.

Estos procesos de evolución y crecimiento se pueden asimilar a los procesos naturales genotipo de crecimiento interno y fenotipo de afectaciones ambientales o externas. El diseñador establece el genotipo con las variables de los parámetros y el fenotipo será el resultado de las afectaciones dadas por el entorno, estimadas también como parámetros externos dentro de un margen paramétrico. Lo que puede arrojar familias de objetos de acuerdo a las afectaciones y transformaciones resultantes que se pueden hacer evolucionar aplicando a éstas acentos de otros factores y así obtener una muy amplia gama de posibilidades.

Desde una perspectiva de analogía con la naturaleza, Frazer (1995) equipara la iteración del proceso morfo generativo en diseño con la formación natural a partir del ADN y Kolarevik lo sintetiza diciendo que:

Las “reglas” que dirigen la génesis de los organismos vivos, que generan su forma, se codifican en las cadenas de ADN. La variación dentro de la misma especie se logra a través de cruce y mutación de genes, es decir, a través del intercambio iterativo y el cambio de información que regula la morfogénesis biológica. Los conceptos de crecimiento biológico y la forma, es decir, la evolución modelo de la naturaleza, puede aplicarse como proceso generativo de forma arquitectónica (Kolarevik, 2012, p. 23)

El algoritmo genético se asemeja a la cadena de ADN en donde dada su normativa de reproducción se producen cruces, mutaciones y cambios, algunas veces al azar y otras inducidos por diversos factores, pero siempre ofreciendo especímenes cuyas características fundamentales se conservan pero incorporan mejoras convenientes y así sobre viven. En

esta experimentación generativa se producen alternativas sobre las cuales escoger y desarrollar o incluso crear nuevas generaciones.

Karl Chu usa en la morfogénesis digital lo que denomina “arquitectura proto bionica” en donde a partir de un conjunto de reglas simples se construye un objeto y estas mismas reglas aplicadas sobre el objeto genera otros objetos complejos de tal modo que a partir de reglas simples se construyen objetos complejos, para ello usa un sistema de lógica generativa denominado L-System de Aristid Lindenmayer en donde las reglas generativas se pueden expresar de manera muy concisa.

Para cualquier enfoque de diseño generativo lo que realmente importa es la fuente común de la forma, es el código genético para la producción de los objetos, con lo que se remite el trabajo del diseñador a la articulación interna del proyecto y no de la forma externa.

4.3 Forma, superficies espaciales y producción.

Las tecnologías se podrían clasificar de acuerdo a las posibilidades formales que permiten, es decir sus posibilidades morfo generativas y reordenarse de acuerdo a *“las relaciones que se establecen entre categorías formales y –en lo específico del diseño industrial- categorías funcionales”* (Muñoz, López, & Rezk, Forma y tecnología, p. 1) y así poder identificar las posibilidades productivas que tiene una forma en particular de acuerdo a la evolución tecnológica.

El lenguaje visual de las formas ha estado limitado y restringido por las tecnologías de transformación y fabricación dando como resultado incluso ciertos lenguajes propios de ellos, así los elementos plásticos están determinados por los procesos de inyección, extrusión, termo formado y otros, los elementos metálicos por procesos como el forjado, la fundición, el estampado y otros, las cerámicas y vidrios por el torneado, el soplado y el vaciado, por mencionar solo algunos, pero en todos ellos con las limitaciones propias de cada tecnología.

Sin embargo las nuevas tecnologías vienen ampliando las posibilidades hasta incluso desaparecer las restricciones geométricas en el desarrollo de las formas, con lo cual se incorporan a este lenguaje formal “posible”, dando espacio a la estructuración de nuevas categorías que las incluyen; en *“Formas y tecnología”* Patricia Muñoz y Juan Coronel proponen categorías para las formas Fluidas, Curvadas, Plegadas y Armadas.

Las fluidas son aquellas que se presentan como superficies espaciales sin cambios delimitados de sección que generalmente son huecas e invariantes, las curvadas son aquellas que se obtienen a partir de laminas que curvadas en diferentes direcciones conforman la pieza, normalmente superficies desarrollables que presentan continuidad, las plegadas igual que las curvadas parten de una lamina pero presentan pliegues marcados que pueden cerrar o no la pieza y finalmente las armadas en donde es evidente la diferencia formal de las partes y estas son unidas o ensambladas y se articulan en el objeto final.

Desde las piezas simples hasta los objetos complejos están conformados por estos tipos de formas que se unen finalmente como un producto completo.

El desarrollo formal se sitúa entonces entre lo pensable y lo posible. A lo cual Manzini refiere que los objetos producidos por el hombre *“Se sitúan en el punto de intersección entre las líneas de desarrollo del pensamiento (modelos mentales, estructuras culturales, formas de conocimiento) y las de desarrollo técnico (disponibilidad de materiales, técnicas de transformación, sistemas de previsión y control).”* y plantea que el proyecto es el producto de la interacción entre “pensable” y “posible”. (Manzini, La materia de la invención. Materiales y proyectos, 1993, p. 17)

Durante mucho tiempo las posibilidades formales en un proyecto de diseño estuvieron limitadas por las posibilidades tecnológicas de fabricación, es decir su factibilidad estaba delimitada por los procesos de fabricación, sin embargo el desarrollo de la informática y el uso articulado de los sistemas CAD-CAM ha posibilitado ampliar la factibilidad de la forma en los productos. Es por ello que se hace indispensable abordar desde el conocimiento de las formas y sus propiedades geométricas, cómo estos instrumentos potencian la actividad proyectual y presentan nuevas posibilidades morfo generativas bajo el control estricto y ordenado de sus estructuras, siendo abiertas para la creatividad y la exploración formal. Las formas están estrechamente ligadas con las funciones en los productos y por ende con las tecnologías de fabricación.

El espacio informático 3D que simula el espacio físico permite comunicar eficientemente las características formales de un objeto con el propósito de ser reproducido y en él se puede manipular completamente, para hacer los cambios que se consideren pertinentes, cortando, redimensionando, rotando y modificando sus partes o su totalidad hasta la conformidad quedando siempre registrada de manera precisa en la documentación, incluyendo su historial de transformaciones. Esta articulación de los sistemas CAD-CAM es la que permite hacer cambios y ajustes fácilmente que responden a factores funcionales,

estéticos, productivos y de costos proporcionando flexibilidad y rapidez al desarrollo de productos; adicionalmente facilita el desarrollo de formas y geometrías complejas, que si bien podrían realizarse con otros procesos, aquí resultan rápidos y económicos.

Dada la explosión de sistemas informáticos dedicados al modelado 3D y al conjunto CAD-CAM se presentan ciertas dificultades en cuanto a las posibilidades generativas de la forma, ya que cada uno puede tener principios estructurales de construcción de la forma distintos y variados, así un mismo software podría producir la misma superficie con la misma estructura de múltiples maneras; Muñoz y Coronel en Superficies espaciales en diseño industrial anota que *“Las distintas conceptualizaciones de los sistemas informáticos son las que dificultan el intercambio de datos entre programas. Al no ser explícitas complican la operación sobre ellas.”* (Muñoz & Lopez, Superficies espaciales en diseño industrial, p. 3)

Si bien esto debe ser claro y explícito para el diseñador, es un esfuerzo para los desarrolladores del software encontrar los medios que permitan transparencia en los modelos de construcción de la forma en sus programas para que los diseñadores puedan decidir y controlar cada superficie de acuerdo a uno o varios modelos de conformación. Es decir una apropiación tecnológica por parte del diseñador y no meramente instrumental de los sistemas 3D y CAD_CAM involucrando los saberes propios del diseño tanto en lo conceptual como en lo técnico operativo y así poder aprovechar las capacidades morfo generativas de los sistemas.

A pesar de los diferentes sistemas generativos en los sistemas informáticos, estos suelen producir generatrices básicas de una sola manera, sin embargo en el diseño se pueden usar muchas sin discriminación, del tal modo que las superficies y especialmente las transiciones entre ellas tengan lecturas muy distintas y complejas, lo que hace rico y variado el diseño de las formas, pero que es de vital importancia en la factibilidad de producción, los costos o la velocidad de producción.

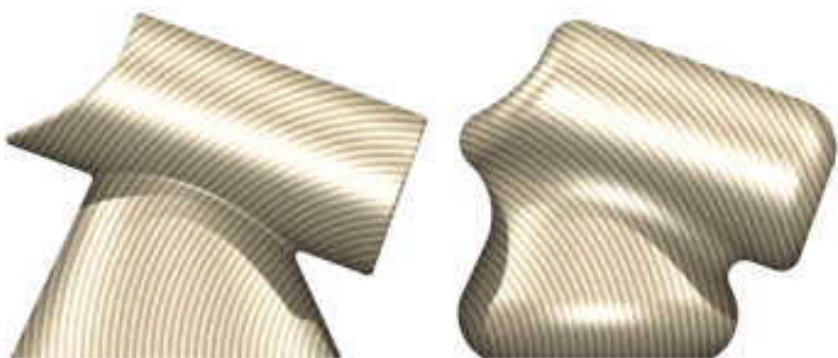


Figura 39 Transición de superficies con diferencias perceptuales.

Superficies con transiciones distintas y grandes diferencias perceptuales conllevan condiciones distintas en la producción. (Muñoz & Lopez, Superficies espaciales en diseño industrial, p. 5)

Con relación a la continuidad de una superficie en un objeto frente a las incidencias en su producción, Muñoz y López resumen en la descripción de una caso las afectaciones que tiene, por ejemplo:

“la menor velocidad en el fluido del plástico por un molde requiere el uso de calefactores en las matrices para que el plástico no se trabe. Esto aumenta los costos y produce también acumulación de material en algunas partes que modifica la resistencia del mismo. La continuidad de las secciones también tiene su influencia en la resistencia y en la posibilidad de deformaciones y rechupes que pueden modificarse con paulatinos cambios de sección. Si esto se conoce, puede aprovecharse favorablemente en el diseño de la pieza. Es un conocimiento que de ninguna manera puede obviarse ya que es la causa de indeseables sorpresas”.

(Muñoz & Lopez, Superficies espaciales en diseño industrial, p. 5)

De manera muy acertada Enzo Manzini sintetiza esta relación de los sistemas informáticos con la determinación de la forma en diseño y el impacto que éstos tienen en la generación de nuevos productos aclarando que *“...tanto la actividad de diseño asistido por ordenador como la de producción mediante máquinas de control numérico y robots, al ser gestionadas mediante “paquetes” de software que preceden a las diferentes operaciones, tales “paquetes” tienden a configurarse como los nuevos standard (no ya materiales sino informacionales) del proceso de diseño y producción. En este caso, la variedad del producto final lleva impresa una especie de “código genético” determinada por la unidad de los standard informacionales que la han hecho posible.”* (Manzini, Artefactos, 1992, p. 130)

Por tanto las competencias y la practica del diseño en cuanto a la determinación de la forma deben estar orientadas al conocimiento de estos adelantos tecnológicos, no como simples herramientas o medios de representación, sino como modelos de trabajo, reguladores de los procesos de construcción de la forma y como soportes de la experimentación formal.

4.4 Nuevas tecnologías para la reproducción material de las formas.

La incorporación de nuevas tecnologías a los procesos de fabricación han estado orientados en todo su proceso de desarrollo especialmente a la automatización, la miniaturización y la integración de componentes, todos esos aspectos con un impacto importante sobre los factores de tiempo, calidad y costos. Al hacer un recorrido por las diferentes técnicas y tecnologías utilizadas para la conformación de las piezas en diversos materiales y las tecnologías asociadas al ensamble y armado de los componentes de los productos, podemos verificar que progresivamente hemos tenido a nuestro alcance objetos y artefactos cada vez más complejos, más pequeños y con mejores acabados.

Paralelamente la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y materiales compuestos que conllevan incorporar procedimientos e incluso tecnologías particulares, nos han permitido gozar de atributos en los objetos que se suponían incompatibles o imposibles de ofrecer, es así como tenemos procesadores electrónicos cada vez más rápidos, eficientes y pequeños, vehículos que incorporan tantas tecnologías como les es posible y en los que confluyen cientos o miles de industrias, artefactos de cualidades especiales y un sin número de objetos que sorprenden con sus cualidades.

Todo ello ha sido acompañado por la definición de las formas, que generaban tensión entre lo deseado y lo posible, en términos de posibilidad productiva; cada avance tecnológico o de materiales permitía, en la mayoría de los casos o restringía en algunos, las posibilidades formales que estos productos podrían tener, generando una relación estrecha entre el desarrollo tecnológico y las formas posibles, empujando a trabajar conjuntamente a diseñadores, ingenieros de producto, industriales y de materiales, con los responsables de marketing y comunicación, para estar al menos al día en el mercado de productos, sino a la vanguardia.

Las máquinas de control numérico de cinco ejes y los sistemas robotizados hicieron más rápidas tareas hechas por las personas, pero también hicieron más eficientes los procesos llevados a cabo por las máquinas, logrando así bajo un control computarizado muy estricto, formas cada vez más complejas en algunos casos o más fáciles de reproducir en otros; sin embargo ciertos tipos de geometrías no eran posibles o requerían de equipos de gran complejidad, implicaban grandes costos de producción y por tanto solo eran posibles para grandes volúmenes de producción que lo hicieran rentable.

Dentro de esta dinámica de desarrollo que buscaba hacer posible una fabricación eficiente bajo controles estrictos de reproducción y que no impusiera limitaciones a las geometrías complejas y formas especiales, sin sacrificar energía y costos, fueron implementándose técnicas básicas de impresión 3D, ya a finales de los años 70 se experimentaba con esta posibilidad y en el año 1983 apareció el primer método probado de impresión 3d, la estereolitografía, y a partir de allí solo se ha crecido exponencialmente en la creación de nuevos métodos y técnicas para lograr pasar de una imagen de coordenadas tridimensionales en el ordenador a una pieza física sólida terminada.

Muchas “nuevas” tecnologías en el pasado han sido juzgadas como pasajeras y en ello se ha fallado, ahora algunos creen que la impresión 3d puede ser una de ellas, pero hay evidencias de múltiples empresas que han reconocido y ahora utilizan esta tecnología como parte importante en su procesos productivos y serán quienes participen en los inicios de esta nueva tecnología quienes cosechen más frutos y aporten a su desarrollo, en 1990 la masificación de internet cambio el mundo y hoy la impresión 3D lo cambiara de nuevo, es necesario reconocer la impresión 3D como un peldaño en esta nueva revolución industrial.

Las impresoras 3D se están utilizando con propósitos más allá de los modelos de concepto o prototipos de comprobación, especialmente con mucha fuerza en el proceso preindustrial de la fabricación y en el desarrollo de patrones para moldes y moldes, así mismo se usa desde hace tiempo para hacer modelos de uso y cada vez más para mejorar el diseño de los productos en etapas tempranas de desarrollo; estos usos han contribuido a formalizar lo que viene a denominarse la Fabricación Digital Directa, DDM (por sus siglas en ingles) o Fabricación rápida RM (por sus siglas en ingles) la cual tiene como ventaja evitar procesos de ensamble ya que se pueden imprimir mecanismos armados o piezas complejas ensambladas.

La Fabricación Rápida permite la evolución de ciertos fenómenos en los procesos de producción que se vienen desarrollando a partir de las tecnologías de impresión digital 3D, como la Personalización masiva que permite hacer pequeños cambios en la piezas de acuerdo al gusto o las exigencias del consumidor sin que ello implique aumento de los costos, la Producción de Pequeños Lotes, ya que se prescinde de las herramientas complejas o moldes de alto costo, el Almacenamiento y Distribución Digital, en donde no se envían productos físicos desde grandes distancias sino archivos digitales para ser impresos y ensamblados muy cerca del destino final, el Diseño Abierto, con el cual el usuario puede hacer pequeños cambios o ajustes a su medida e imprimir las unidades que requiera,

poniendo a disposición de otros esos cambios si resultan útiles para otros y finalmente, entre otros, un cambio muy importante en los sistemas de ventas al por menor.

Entre los aspectos que han permitido esta evolución y que seguirán motivando su desarrollo están:

La capacidad de procesamiento y almacenamiento de las computadoras.

La capacidad y velocidad de transmisión de internet.

El desarrollo técnico de las impresoras 2D que hacen parte de las impresoras 3D.

Las impresoras de código abierto que ha permitido avances y desarrollos importantes en las mismas.

La creciente digitalización de la actividad humana.

Las patentes iniciales de la impresión 3D están caducando y esto permite que otros aborden la técnica y desarrollen aun más (Barnatt, 2013, p. 8)

La fabricación rápida a diferencia del prototipado rápido, que es usado en aplicaciones especializadas pero no está diseñado para la manufactura ya que presenta problemas en los acabados superficiales, la repetibilidad y la precisión entre otros, se ha definido como *“el uso de un diseño asistido por ordenador (CAD) basado en un proceso de fabricación aditiva automatizado para la construcción de piezas que se utilizan directamente como productos terminados o componentes”* (Hopkinson, Haugue, & Dickens, 2006, p. 2) y presenta un gran potencial de desarrollo como nueva disciplina, afectando aspectos como el diseño de producto, la ingeniería de producto y fabricación y el marketing. Es claro también que se encuentra en las primeras etapas de construcción pero aun así es capaz de procesar polímeros con solvencia y presenta adelantos importantes en el manejo de materiales como metales, cerámicas y materiales compuestos.

Una de las ventajas más importantes de la fabricación rápida, más allá de las diferencias entre lo sustractivo o aditivo en la tecnología de producción, son las ventajas del diseño; *“el principal beneficio que se obtendrá mediante la adopción de una fabricación aditiva (incluyendo la mayoría, pero no todas, de las técnicas disponibles en la actualidad de RM) es la capacidad de fabricar partes de virtualmente cualquier complejidad de la geometría del todo, sin la necesidad de herramientas. En la fabricación convencional, hay una relación directa entre la complejidad de una parte y su costo* (Hopkinson, Haugue, & Dickens, 2006, p. 5). Lo cual implica que las restricciones que existían para la fabricación y el montaje de productos ya no son válidas, de hecho los diseñadores estaban limitados en el desarrollo de la forma a las posibilidades de fabricación con una geometría restringida, y esto cambia el enfoque, pasando del diseño para la fabricación a la fabricación del diseño.

Es posible que buena parte de los productos que hoy tenemos sean en el futuro, producidos o impresos cerca de nuestro domicilio en una fabrica local o incluso en nuestra misma casa, *"las fábricas de futuro representan una convergencia del arte y la ciencia; de lo estético y lo tecnológico y tendrá que ser examinado el papel futuro de diseñadores y dónde encajan en el proceso de diseño.* (Atkinson, 2003, p. 28)

En el anexo numero dos (2) están descritos los diferentes procesos de fabricación aditiva, sus usos más frecuentes, algunas de sus ventajas y también sus restricciones.

4.5 Implicaciones de las nuevas tecnologías de reproducción material en los procesos de determinación de la forma.

La Comisión Europea estima en 750 mil millones de euros el mercado de la Fabricación Avanzada para el año 2020, del cual quiere ser parte, ya que impulsaría el crecimiento de la Unión Europea con el fortalecimiento y actualización de su aparato productivo y la generación de empleo calificado, de otra parte el mercado de la impresión 3D da muestras de crecer significativamente cada año, pasando de 1.700 millones de dólares en 2011 a 2.200 millones de dólares en 2012²⁷ y considera la Nueva Ingeniería de Manufactura (NME por sus siglas en ingles) como una oportunidad para *"promover la transición del continente, de lo tradicional a la manufactura avanzada"* (Probst, Monfardidni, Frideres, & Demetri, 2013, p. 2)

La nueva ingeniería de manufactura como oportunidad requiere múltiples acciones en diferentes ámbitos pero particularmente en dos direcciones, uno hacia la industria haciendo notar la transición del diseño para la fabricación y el ensamble (DFMA) a la fabricación para el diseño (MFD) y otro a la formación de mano de obra altamente calificada para la manufactura avanzada, mediante planes de carrera que incorporen estas habilidades en disciplinas de ingeniería y diseño; para la Comisión Europea esto permitiría, una mayor

²⁷ Estas estimaciones fueron presentadas en el informe "Advanced Manufacturing, New manufacturing Engineering" presentado a la Comisión Europea por : Laurent Probst, Erica Monfardini, Laurent Frideres, Dawit Demetri, Alain Kauffmann & Steven Clarke, PwC Luxembourg, por parte del "Directorate-General for Enterprise and Industry, Directorate B "Sustainable Growth and EU 2020", Unit B3 "Innovation Policy for Growth", en septiembre de 2013.

participación en este mercado, un incremento en los puestos de trabajo y un retorno a los altos volúmenes de producción en Europa. En los sectores productivos más importantes la nueva ingeniería de manufactura ocupa un lugar primordial en la agenda estratégica de investigación y recurre a los conocimientos implícitos de diversas disciplinas para llevar a Europa hacia los sistemas avanzados de fabricación, apoyando la fabricación de productos mediante estos procesos.

Las capacidades de la Manufactura Aditiva (AM por sus siglas en inglés) llevan a cuestionar las condiciones del diseño para la manufactura DFMA y permite estructurar un Diseño para la Manufactura Aditiva DFAM, teniendo en cuenta muy especialmente la *libertad de la forma* ya que es posible producir cualquier geometría en cualquier escala, desde las microestructuras a la estructura total de un producto, pero también teniendo en cuenta las posibilidades en la complejidad material y la complejidad funcional, todo ello lleva consecuentemente a una *libertad del diseño*, ya sin las condiciones o restricciones del DFMA

A pesar de que el diseño asistido por ordenador CAD llegó a incorporar herramientas para prever y corregir las restricciones geométricas y formales para la manufactura, muchas de ellas quedaban subordinadas a ser realizadas manualmente por el diseñador, corregidas por los ingenieros o incluso a evidenciarse solo en los prototipos o productos de prueba, estos esfuerzos dejaron claro que el diseño quedaba restringido por los procesos productivos y muchas veces la geometría original del producto se alejaba de aquella que finalmente se producía, ahora bien con los procesos de AM, el DFAM se libera de la gran mayoría de restricciones y permite que el objeto “ideal”, el diseño original, se aproxime mucho más al producto final, sin embargo se mantienen algunas pequeñas restricciones y aparecen otras propias, que ya se tendrá oportunidad de analizar.

El DFAM permite aumentar el rendimiento del producto por medio de la depuración de la forma, la definición micro y meso estructural y la composición material, para ello los diseñadores deben tener en cuenta que:

AM permite el uso de la geometría compleja en la consecución de los objetivos de diseño sin incurrir en sanciones de tiempo o costes comparación con geometría simple

AM permite el uso de la geometría personalizada y partes personalizadas para la producción directa a partir de datos 3D

Con AM, a menudo es posible consolidar las partes, la integración de características en piezas más complejas y evitando los problemas de montaje

AM permite a los diseñadores ignorar todas las restricciones impuestas por el convencional procesos de fabricación (aunque podrían imponerse restricciones-AM específicas) (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010, p. 287)

Del mismo modo los sistemas CAD no se han adaptado por completo al creciente auge del DFAM para aprovechar sus capacidades y si bien tienen un gran control para la generación de las formas con geometrías complejas, la adaptación para incorporar materiales específicos o compuestos por partes y piezas no está resuelto y por ende el aprovechamiento de las propiedades del material; Gibson, Rosen y Stucker enuncian los retos que los sistemas CAD deben lograr para adaptarse al DFAM como:

La complejidad geométrica. Es necesario soportar modelos con decenas y cientos de miles de funciones

La representación de los materiales basados en las propiedades físicas. Las composiciones de material y sus distribuciones deben estar representados y debe estar físicamente representada.

Representaciones de las propiedades físicas. Las distribuciones físicas y las propiedades mecánicas deben estar representados y las pruebas de su base física.
(Gibson, Rosen, & Stucker, 2010, p. 301)

Stratasys²⁸, una de las empresas más importantes en el desarrollo de la manufactura digital directa DDM considera que los modelos y métodos de diseño deben ajustarse a los nuevos modos de producción dado que disminuyen y en algunos casos anulan las restricciones geométricas, formales y constructivas de los sistemas tradicionales de manufactura y ensamble, además de transformar otros tantos aspectos como la conformación ensamblada de piezas, que elimina ciertos procesos de armado, la variación estructural de una misma pieza ya sea con uno o más materiales, la definición del diseño

²⁸ Stratasys Ltd. fue fundada en 1989, por S. Scott Crump y su esposa Lisa Crump en Eden Prairie, Minnesota. Es un fabricante de impresoras 3D y sistemas de producción 3D para prototipado rápido y soluciones de fabricación digital directa. Los ingenieros y diseñadores utilizan sistemas Stratasys para modelar geometrías complejas en una amplia gama de materiales. La empresa cuenta con más de 180 patentes en esta área.

desde la microestructura para otorgar propiedades a la pieza y el producto y otras tantas que se convierten en parámetros de diseño antes no tenidos en cuenta o imposibles de controlar.

Jim Comb, de Stratasys, dice que *lo complejo puede ser rápido, barato y práctico*, y lo importante en el diseño es centrarse en la función haciendo caso omiso de la forma, ya que ésta no es un problema y cualquiera imaginable es posible, los ingenieros y diseñadores se deben concentrar en lograr el mejor rendimiento posible haciendo las piezas tan complejas y detalladas como se requiera; otras observaciones que hace Stratasys con respecto a una nueva metodología de diseño son:

Olvidar el diseño para la manufactura. Con un diseño libre de restricciones para la manufactura

Concentrarse en la función. Aspirando al mayor rendimiento posible.

Hacer iterativo el proceso de diseño. Rediseñando con un plan de refinamiento continuo

Redefinir el diseño para la AM. Diseñando todo de nuevo para la manufactura aditiva. (Comb, 2012, p. 4)

En cuanto a las técnicas de diseño igualmente señala que:

Que sea rico en características. No sacrificar forma o funcionalidad por la manufactura.

Re pensar el espesor de la pared. Se pueden tener paredes gruesas, delgadas o en transición.

Consolidar, no segmentar. La consolidación de toda una unidad libera de montaje y ensamble.

Utilice todo el espacio. Piense orgánicamente y deje fluir el diseño, el espacio esta disponible.

Olvídense de los detalles de manufactura. No hay que repensar para la producción. (Comb, 2012, p. 5)

Ahora bien estas directrices desde el aspecto técnico evalúan los pros y los contras de esta tecnología frente a los sistemas tradicionales de producción y enfrenta las posibilidades de la producción por demanda y las series únicas de pequeños artefactos; pero desde la perspectiva del diseño, del diseño de producto y de la investigación en diseño de producto, se plantea un reto de cara a las herramientas y materiales de la manufactura aditiva que bien merece la pena abordar.

Estas cuestiones vienen rondando el ejercicio académico y profesional del diseño, que intenta descifrar, qué tanto podrán transformar sus modelos y métodos de trabajo y cual será el impacto sobre el producto final. Son más de 20 años experimentando con las primeras maquinas de prototipado rápido, que estaban al alcance de unos pocos, dado su elevado costo y el costo de los insumos que se requerían y un poco menos de tiempo con las maquinas de sinterizado laser y las de fusión y deposición de metal fundido, las que han permitido tener aproximaciones tanto al DFAM como al DDM.

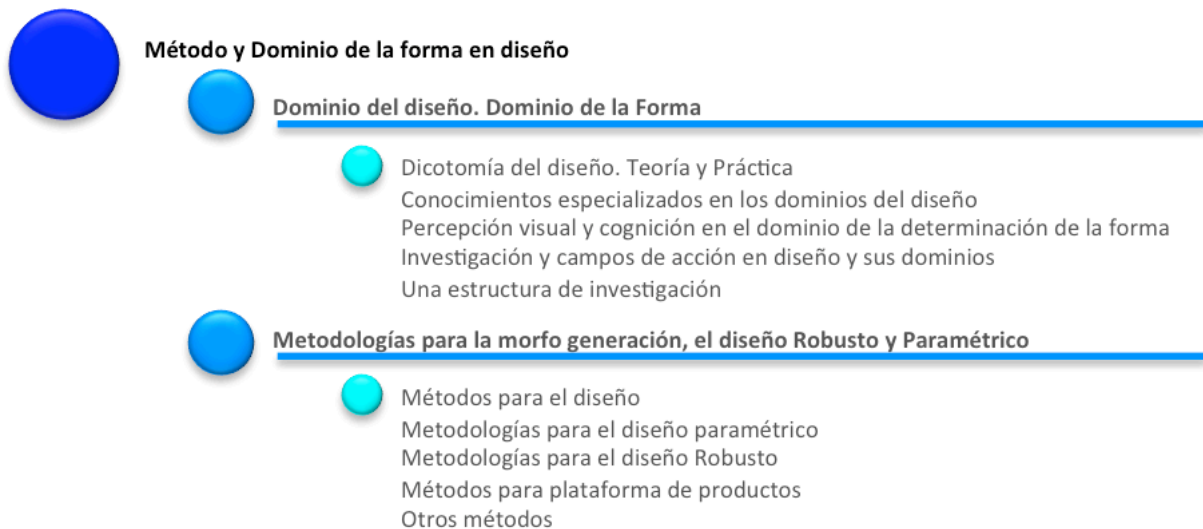
En la ultima década se ha llamado la “próxima revolución industrial” a la Tecnología de Fabricación Aditiva AM, en donde el diseñador tiene una participación aumentada, desde la conceptualización hasta la producción de un objeto físico con herramientas de AM, inicialmente con objetos de baja calidad en el acabado y limitaciones en los materiales con las primeras impresoras 3D de deposición fundida (RepRap, MakerBot, y Bits) generando una explosión frenética de diseño, sin mucha reflexión sobre los modelos de trabajo, pero, lo cualitativamente distinto es que esta producción puede ser más rápida, más versátil y sin restricciones geométricas, por tanto las habilidades de quienes lo hacen y aprovechan deben cambiar y evolucionar. De este modo, siendo los diseñadores quienes han estado al tanto del desarrollo de productos aprovechando la tecnología y los materiales serán quienes deban relacionarse con ella profundamente.

La nueva tecnología permite que muchas personas tengan a su alcance los medios para la producción, lo cual no es necesariamente nuevo, carpinteros y herreros lo ha hecho siempre, lo que es distinto e interesa es la relación con el diseño industrial y como afecta esta labor, “*ser dueño de un martillo y un serrucho, no hace un buen carpintero*” (Killi, 2013, p. 11) Aun se requieren de diseñadores cualificados y críticos para el desarrollo de productos de calidad.

Jan Capjon en “*La prueba y el error como base de la innovación*” (Capjon, 2004), afirma que, al ser el diseño una actividad dinámica, sus procesos cambian con las nuevas tecnologías y lo demuestra con la observación de grupos de trabajo multidisciplinar y cómo se benefician de trabajar con impresoras 3D para tener modelos disponibles en diferentes etapas del proceso y que esto conlleva a la reducción de riesgos, costos y tiempos en el desarrollo de productos. En el mismo sentido Steiner refiriendo a los resultados que se obtienen con el uso de las tecnologías de AM señala que “*son productos que normalmente pudieran existir o existen hoy producidos de manera convencional, pero con mayor valor - funcional, estético y ergonómico cuando es rediseñado para AM.*” (Killi, 2013, p. 30)

Son ya un buen número de estudios que relacionan las nuevas formas de producción, las apuestas metodológicas y de modelos de trabajo, especialmente aquellos que intentan desarrollar un enfoque desde la gestión del diseño y no desde lo tecnológico, que permiten hacer un reconocimiento de los resultados e intentar identificar las transformaciones formales y las exploraciones de los límites geométricos de la ingeniería de manufactura avanzada.

5 MÉTODO Y DOMINIO DE LA FORMA EN DISEÑO



La determinación de la forma si bien puede parecer un acto creativo fruto de la inspiración, el dominio estético del diseñador y las destrezas técnicas en la representación, en diseño cada vez más corresponde a estructuras organizadas de trabajo, a modelos estructurados de control de superficies y a intensiones de diseño que responden a la identidad de marca, de tal modo que sin perder la flexibilidad en la búsqueda y creación dentro del infinito universo de las formas, se responde a condiciones previamente establecidas y se cumple con objetivos asociados a múltiples aspectos como lo son la materialidad, la producción y los deseos de los consumidores, con rigurosidad matemática.

Los modelos y métodos de trabajo evolucionan constantemente dentro de un orden que sistematiza y regula las etapas y las tareas a seguir, de acuerdo tanto a los objetivos por lograr como a las herramientas y recursos que se tienen disponibles, con lo cual se adecuan a la evolución de las demandas y a los desarrollos tecnológicos tanto en las herramientas como en los medios que hacen posible la construcción de los resultados. En diseño los métodos de trabajo se han visto abocados dentro de un proceso de adaptación a incorporar los modelos que exigen las nuevas estrategias industriales y comerciales y al mismo tiempo las que las herramientas digitales ponen a disposición.

La denominada nueva revolución industrial y la era digital abarcan todos los ámbitos del ejercicio profesional y afecta al diseño especialmente con gran fuerza, provocando que éste se adapte rápidamente a los cambios y adopte tanto las exigencias como los recursos para su ejercicio. Por esta razón se hace necesario en esta revisión de la transición de la

abstracción geométrica de las formas a la morfo generación digital, prestar atención a los modelos de trabajo que se adaptan a las nuevas tecnologías y a las herramientas que evolucionan paralelamente a ellas.

Del mismo modo los dominios de conocimiento necesarios para abordar eficientemente los métodos de trabajo y las nuevas estrategias de desarrollo de productos, deben adaptarse y evolucionar, ser lo suficientemente flexibles para asumir la diversidad de modelos, ser lo suficientemente amplios para abarcar ejercicios extremos y estar predispuestos a su propia evolución. De este modo los dominios del diseño podrán insertarse efectivamente dentro de las cualidades indispensables en la era digital y potenciar esta nueva revolución industrial. El dominio de la forma como eje fundamental de la practica del diseño debe evolucionar y adaptarse a las nuevas condiciones del entorno creativo del diseño y por tanto lograr las cualidades y calidades necesarias para estar a la altura del desarrollo tecnológico y humano.

Este capítulo trata dos temas complementarios desde la perspectiva practica de las competencias profesionales del diseño, los métodos y los dominios de conocimiento, nuevamente si ser exhaustivos y más con la intención de generar un marco amplio para el desarrollo del concepto de Metaforma, se abordan de manera general algunos aspectos. Inicialmente el apartado del *Dominio del diseño, Dominio de la forma* introduce al tema de los dominios en las disciplinas y enmarca el desarrollo de la temática en cuatro Apartados, primero la *Dicotomía del diseño, Teoría y Practica* en donde se establece esta relación con los dominios, con los problemas perversos y entre el conocimiento científico y el sentido común, según Horvath, de igual forma la relación entre exploración / construcción y análisis / síntesis que propone Archer y que define los diferentes perfiles de los diseñadores, también se abordan las ideas de Pensamiento de diseño, la observación reflexiva y la experimentación concreta desde la perspectiva de Beckman y Barry, desde un marco más amplio se refleja el flujo de información entre la practica, la investigación, la teoría y la enseñanza del diseño y finalmente los dominios en la enseñanza del diseño desde el trabajo realizado por Hinrichsen y diferentes universidades.

El segundo apartado de este primer tema, *Conocimientos especializados en los dominios del diseño* se aborda la construcción de los conocimientos en diseño apoyados en la experiencia que proponen Hatano y Popovic, al igual que el fortalecimiento de los dominios desde la representación y la visualización expuesto por Oxman y Popovic. El tercer apartado *Percepción visual y cognición en el dominio de la determinación de la forma* revisa la relación entre la visión, la percepción y la cognición frente al surgimiento de la forma

según Oxman y Schon y el surgimiento de la forma como gramática de las formas y su operación en los modelos computacionales propuesta por Stiny.

El cuarto apartado *Investigación y campos de acción en diseño y sus dominios*, además de revisar múltiples esfuerzos por organizar el panorama de la investigación en diseño por áreas o categorías presenta la síntesis que hace Horvath en categorías, dominios, trayectorias y enfoques, y la incidencia de la tecnología en los dominios y cómo ésta apoya el ejercicio del diseño en la diversidad de las prácticas. El quinto y último apartado, *Una estructura de investigación* presenta los modelos de investigación en diseño que relacionan modelos, dominios y competencias descrito por Wnag y Duffy, al mismo tiempo que describe los cambios en las competencias en concordancia con fenómenos como la tecnología, la educación, el comercio y la practica misma del diseño, bajo el análisis de Yang y finalmente de acuerdo a la propuesta de Liu y Prestholt los roles y papeles del diseñador de acuerdo a lo que se espera de ellos y las competencias y dominios que ello demanda.

El segundo tema tratado en este capítulo *Metodologías para la morfo generación, diseño robusto y diseño paramétrico* esta constituido por cinco Apartados que relacionan las metodologías de diseño con los avances tecnológicos y los cambios en los roles de los diseñadores, los métodos específicos para el diseño robusto, el diseño paramétrico y el diseño de plataformas de productos, y termina reseñando algunos métodos que se apoyan en la determinación de la forma y el uso de herramientas informáticas.

El primer apartado de este segundo tema, *Métodos para el diseño* presenta una pequeña reseña de la evolución del diseño frente a los roles del diseñador, los métodos de trabajo y los medios digitales, al igual que la evolución de los métodos de trabajo y sus perspectivas frente a los avances tecnológicos en los entornos digitales y termina con la caracterización de Simon y Maher de los procesos y su alianza con la computación. Este apartado tiene un anexo que relaciona con base a una estructura de Lui y Boyle de diferentes perspectivas de trabajo metodológico y una relación de artículos iniciada por Hovarth que se complementa con los artículos publicados en la Revista de Ingeniería de Diseño entre 1993 y 2008, que da cuenta de las diversas orientaciones de los métodos según evolucionan las herramientas digitales.

El segundo apartado *Métodos para el diseño paramétrico* trata sobre los alcances de la creación y la creatividad sobre las plataformas de CAD y CAD avanzado y la relación del pensamiento de diseño con las herramientas del diseño paramétrico que estudian Salim y

Burry. El tercer apartado *Métodos para el diseño robusto* se ocupa desde el aseguramiento de la calidad a la calidad total con el método Taguchi y cómo éste ha sido utilizado en el diseño para la manufactura desde las etapas tempranas de diseño estableciendo parámetros, hasta los modelos avanzados que usan partes del método Taguchi con herramientas digitales desde un enfoque sistémico y que tienden a las plataformas de productos conectados por parámetros. También se trata la matriz cartográfica de dominios de la Universidad Tecnológica de Munich que ha servido de base para múltiples estrategias que permiten visualizar el rendimiento del proceso de desarrollo de productos. El cuarto apartado *Métodos para las plataforma de productos* trata, a partir de la visión de Höltä, Meyer y Lehnerd cómo se ha llegado al desarrollo de plataformas de productos y cómo se da la relación entre plataformas de productos con los algoritmos genéticos y meta modelos de Simpson y Nayak y la teoría constructal de Allen.

El ultimo apartado de este tema y capítulo se ocupa de *Otros métodos*, en donde se reseñan diferentes métodos que relacionan la determinación de la forma y los medios digitales, como, la combinación de modelos de optimización topológica y optimización de la forma propuesto por Kobayashi. La construcción, reconstrucción y optimización de la forma desarrollado por Horvath, Rusak y Duhovnik. La interpretación de bocetos basado en la gramática de las formas de Cheutet. La intensión de diseño por medio de la ingeniería inversa propuesta por Mengoni y el reconocimiento de plantillas y líneas de carácter de Langerak y Vergeest.

Después de una carga importante de modelos, métodos y dominios vale la pena recordar que el trazo sencillo, el dibujo libre y la expresión propia del diseñador han dejado de ser suficientes y no dan cuenta de la complejidad y el trabajo interdisciplinario indispensable para el diseño y desarrollo de productos, las aproximaciones topológicas estáticas o las formas modeladas con detalle y gran refinamiento expresivo dejan infinidad de “cabos por atar” dentro de una estructura tecnológica y productiva potente y revolucionaria que demanda estar en concordancia con sus estructuras de trabajo, sus modelos operativos y en un lenguaje estrictamente digital. El diseño tiene la imperiosa necesidad de desarrollar sus dominios de la determinación de la forma dentro de modelos y métodos de trabajo que le permitan interactuar eficientemente dentro de los entornos productivos altamente digitalizados o sencillamente su rol lo ocuparan otros expertos que si lo hagan.

5.1 Dominio del diseño. Dominio de la Forma.

Cuando se habla de la Metaforma como nuevo dominio del diseño, esto refiere a una nueva denominación del grupo de competencias que permiten al diseñador concretar por medio de la forma la estructura de comunicación de un producto y cómo ella ha evolucionado inspirada y de algún modo provocada, por los cambios en torno a su generación y creación. Por ello se hace necesario reconocer las cualidades e implicaciones de los dominios y al mismo tiempo las afectaciones que han tenido para considerar que la básica denominación de “forma” debe dar cuenta y apropiarse de todos aquellos elementos que progresivamente se han incorporado, dando un sentido más allá de la forma y que aquí denomino Metaforma.

En este apartado se desarrolla el concepto de Dominio desde diferentes perspectivas, desde el desarrollo de competencias profesionales, desde el conocimiento y la experiencia dentro de un área de conocimiento y como unidad teórica de una disciplina. Así mismo el dominio desde su relación con la teoría, la práctica y la investigación asociada al diseño. Haciendo visible su estructura, sus relaciones y su importancia tanto en la enseñanza como en el aprendizaje.

Los dominios dentro de cualquier disciplina y especialmente dentro del diseño se establecen a partir de las competencias enseñadas - aprendidas y el grado de su desarrollo dentro de un ejercicio teórico ya sea académico o discursivo, pero también a través de la práctica efectiva en proyectos y realizaciones en el campo productivo. De tal modo que los dominios o alguno de ellos en particular se puede identificar, evaluar y posiblemente calificar frente a una escala a través tanto del proceso de diseño como de los resultados en un producto.

La determinación de la forma como dominio particular del diseño sintetiza y recoge las contribuciones desarrolladas provenientes de otros dominios como complementarios y dan cuerpo al producto en todas sus dimensiones, de tal modo que las exigencias del contexto y de los usuarios se ven reflejados en él, del mismo modo como los requerimientos de producción y comerciales. Dominio que podría denominarse, dominio creativo o dominio de determinación de la forma o simplemente dominio de la forma (DF).

El dominio comprendido como las competencias que permiten al diseñador explorar y crear una forma determinada son dependientes de diversos factores como la experiencia visual y perceptiva del diseñador, los medios y recursos que usa para su exploración y

creación y los conocimientos teóricos y metodológicos para incorporar en ella las demandas, y por ello este dominio se ve expuesto a la evolución de estos factores. Los modelos y métodos de trabajo evolucionan y se adaptan a los cambios a partir de su uso y evaluación, los medios y recursos comúnmente expuestos a las técnicas y nuevas tecnologías evolucionan e incorporan la complejidad necesaria en correspondencia a la complejidad de los productos y finalmente la experiencia visual y perceptiva del diseñador se incrementa con su propia experiencia y la del entorno de diseño con los aportes y experiencias dentro del mundo del diseño. Es por todo esto que el dominio de la determinación de la forma ha evolucionado intentando adaptarse a las transformaciones del entorno y que afecta las competencias que lo estructuran.

Aquí se desarrollaran los siguientes apartados para dar un marco tanto al concepto de dominio en el diseño como sus relaciones con las competencias y la investigación en diseño:

- Dominio. Dicotomía teoría / Práctica. Pensamiento abstracto y experimento activo.
- Conocimientos especializados en los dominios del diseño
- Percepción visual y cognición en el dominio de la determinación de la forma.
- Investigación y campos de acción en diseño y sus dominios.

5.1.1 Dicotomía del diseño. Teoría y Práctica. Pensamiento abstracto y experimento activo.

La especialización de las artes liberales con la generación de modelos y métodos específicos hacia finales del siglo XIX si bien contribuyo en las fronteras del conocimiento, fragmentó las relaciones entre unas y otras casi hasta su desconexión con la vida diaria, de allí la enorme preocupación en el siglo XX por encontrar nuevas disciplinas integradoras para volver a enriquecer la vida humana, en este contexto el diseño a partir de su conocimiento de las artes y las ciencias asociadas, sirve a los problemas y propósitos de la vida del común combinando la teoría con la práctica en nuevos propósitos productivos, por medio de un pensamiento de diseño que se desarrolla dentro de la cultura tecnológica.

El diseño y el pensamiento de diseño se siguen expandiendo, considerando que toda acción que contemple un plan, un proyecto de trabajo o hipótesis con una operación intencional se convierte en una experiencia humana y esta experiencia construye y aporta desde nuevas visiones y alternativas de desarrollo hasta artefactos y entornos habitables.

Sin embargo se hace indispensable que el diseño no pierda de vista sus relaciones con los procesos de la industria y con el ser humano, quien finalmente hacen uso de los resultados del diseño

El pensamiento de diseño como nuevo arte liberal es compartido por los científicos aunque sean ellos también expertos en áreas específicas, como química, física, matemáticas, ciencias sociales o biología entre muchas otras, sin embargo los problemas que abordan los diseñadores no encajan de manera específica en ninguna de ellas y sí sobre pasan las fronteras de varias de ellas simultáneamente. Lo que convierte a sus problemas en problemas sin acotar por la diversidad de sus fuentes en cuanto a profundidad y cantidad, por sus múltiples objetivos y por la posibilidad de múltiples soluciones, denominados por Rittel (1973) y Buchanan (1992) como problemas perversos. Alice Agonino, citada por Preuss (2015) dice que los problemas mansos se pueden resolver casi automáticamente y los problemas perversos son lo que deben ocupar a los diseñadores.

Horváth (2004) considera que el conocimiento de diseño tiene tanto de formal como de informal, es decir tanto de científico y disciplinario como de sentido común e intuición y por esta característica epistemológica se considera como una forma específica de aprendizaje y no solo como un dominio característico de conocimiento, lo que Archer (1995) denomina Investigación de Diseño (*Designerly Inquiry*), y que se podría asumir como una forma de exploración / construcción de conocimiento científico o como una combinación de análisis / síntesis para la creación de artefactos, dejando vigente la dualidad pero dándole un carácter propio, en donde la investigación de diseño tiene cualidades particulares y distintas para la recopilación de conocimiento para el diseño, que la distingue de cualquier otra forma de investigación.

La aproximación a la Ciencia del Diseño fue abordada por Cross (1993) refiriendo al continuo trabajo de comprensión del diseño por medio de métodos científicos de investigación, distinguiéndola del Diseño de la Ciencia que es una aproximación al diseño de los procesos organizados, racionales y explícitos. Estas dos visiones parecen converger en lo que Cross denomina una ciencia para el diseño construida tecno-socialmente y que se apoya en los supuestos de:

- *La construcción de la realidad a través de las actividades humanas*
- *El papel creciente de la sociedad de las tecnologías*
- *Las construcciones de conocimiento son interpretaciones humanas de los sentidos, en lugar de leyes y derivada exclusivamente de la naturaleza*

- *La construcción del conocimiento se ve influida por las tecnologías y las interacciones entre los seres humanos*
- *El conocimiento como un producto humano socialmente construido está evolucionando y situado. El constructivismo tecnosocial reconoce la importancia de la tecnología, la vida social y el contexto, en la comprensión y construcción del conocimiento acerca de los fenómenos y principios naturales y artificiales.* (Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 65)

Aun cuando, no existe un consenso acerca de la investigación en diseño, que hay reconocidas debilidades epistemológicas y metodológicas en la investigación empujada por la práctica y que lo que significa la ciencia del diseño aun esta en proceso de desarrollo, si existe acuerdo, en la necesidad de modelos metodológicos dedicados a la investigación en diseño que ayuden a generar resultados y un mejor conocimiento de los procesos. Ya sea desde los teóricos que optan por el pensamiento y los modelos científicos o desde quienes optan por la practica como base de la investigación, se debe asumir que el diseño puede ser considerado como *uno de los métodos válidos para la investigación, es decir, una técnica de investigación para la construcción del conocimiento contextualizado* (Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 81)

Se podría decir que los dominios del diseño están íntimamente relacionados con el desarrollo tecnológico no solo por lo modelos de desarrollo y metodologías de procesos que éste aporta, sino también por la evolución que en los medios productivos genera, de tal modo que el diseño los apropia aprovechando sus ventajas y ampliando sus propias posibilidades.

De este modo lo que puede y debe ser diseñado cambia cuando cambia la tecnología y por tanto cambia la manera que nos aproximamos a los problemas de diseño y la manera como los solucionamos, finalmente impacta sus dominios. Preuss (2015) citando a Börg Hartman quien señala un ejemplo de ello refiriendo dos casos clásicos: *En la década de 1920, las sillas de la Bauhaus de Marcel Breuer se inspiraron en la introducción de acero tubular sin costuras; en la década de 1940, Charles y Ray Eames utilizaron su propio proceso de moldeado de madera contrachapada para hacer una revolucionaria silla de salón de madera.* (Preuss, 2015, p. 2), mostrando cómo la exploración estética de las nuevas tecnologías podía influenciar el diseño y en sus palabras *producir belleza*, lo cual lo conduce a una pregunta dentro del contexto actual, de cómo diseñar productos y objetos cotidianos que pueden ser desarrollados por poderosos medios computacionales?

Dado que la percepción es un elemento clave en el diseño, es necesario considerar cómo se percibe el entorno y el contexto por los diseñadores?, por que ello afecta su manera de aprender, lo que a su vez impacta la manera como resuelve los problemas. Los equipos interdisciplinarios son importantes no solo por los diferentes conocimientos que aportan sino por las diferentes perspectivas que se tienen como individuos. Se ha identificado un tipo especial de diversidad dentro de los equipos y es el que corresponde a, cómo aprenden las personas?, y en ella se identifica en cuanto a la forma cómo percibimos la información, el pensamiento abstracto y la experiencia concreta en dos extremos y en cuanto a cómo procesamos la información, la observación reflexiva en un extremo y el experimento activo en otro, esto ha sido estudiado por Beckman y Barry (2007) identificando como afectan los estilos de aprendizaje al proceso de diseño y han denominado “asimilación” al estilo que superpone la observación reflexiva con el pensamiento abstracto, “convergencia” donde se superponen el pensamiento abstracto con el experimento activo, “acomodadores” donde el experimento activo se solapa con la experiencia concreta y “divergentes” donde se solapa la experiencia concreta con la observación reflexiva.

En todos ellos se identifican posiciones de diseñadores con perfiles distintos, cuyos dominios pueden verse fortalecidos sea como Hacedores, Organizadores, Probadores o Exploradores dentro de una dinámica de trabajo no lineal y en todos los casos iterativa. El diseño no es un proceso de seguimiento lineal unidireccional e inequívoco, es mejor explorativo e iterativo, y tiene garantizados fallos dado que intenta equilibrar contradicciones y esto hace que los dominios del diseño deban responder a estas características adaptándose, permitiendo la exploración, la iteración y el error. Alice Agonino citada por Preuss (2015) define el diseño como multidisciplinar y en permanente lucha por cruzar límites disciplinarios, de donde sale fortalecido y trasciende las disciplinas, para lo cual sus dominios deben servir de enlace entre ellas y operar indistintamente en cualquiera.

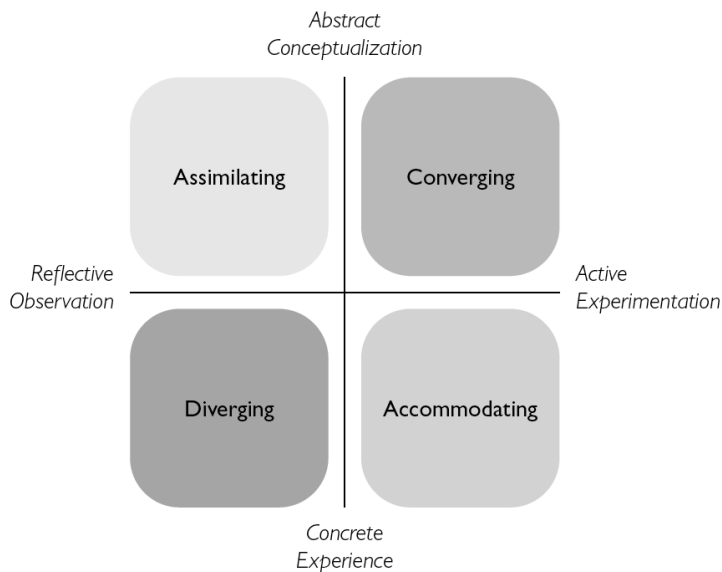


Figura 40 Modelo de teoría de aprendizaje. Beckman y Barry 2007 ²⁹

El ejercicio del diseño discurre simultáneamente entre el conocimiento y la capacidad de diseñar, junto con la conciencia de su práctica, es decir con sus modelos y metodologías, haciendo que la teoría regule el proceso creativo y éste retroalimente la teoría.

El conocimiento de diseño fluye entre cuatro dominios y la conciencia del proceso, lo cual tiene implicaciones pragmáticas y filosóficas de acuerdo a Archer (1995) y Horváth (2008), dichos dominios son:

- *Diseño de la ciencia (filosofía y teoría del diseño)*
- *La investigación del diseño (métodos y prácticas de investigación)*
- *La enseñanza del diseño (diseño y formación de competencias de aprendizaje)*
- *La práctica del diseño (procesos, modelos y herramientas)*

(Horváth, Research differences in the domain of industrial design engineering, 2008, p. 62)

²⁹ Fuente: Drawn from D.A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development* (New Jersey: Prentice-Hall, 1984): p. 4; Alice Y. Kolb and David A. Kolb, *The Kolb Learning Style Inventory—Version 3.1: 2005 Technical Specifications* (Hay Group, 2005).

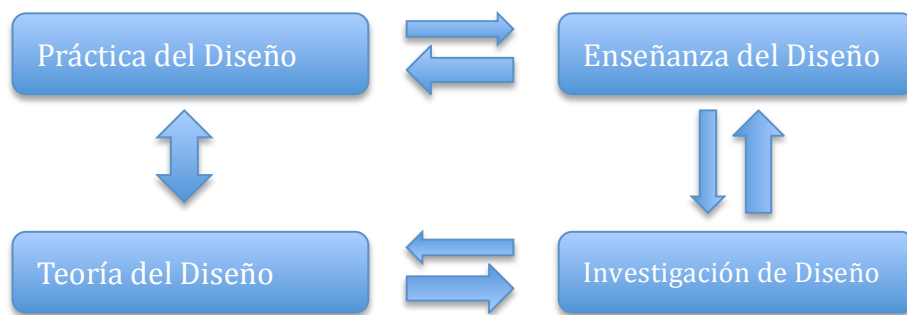


Figura 41 Flujo del conocimiento directo e indirecto.

El conocimiento directo e indirecto fluye entre la teoría del diseño y la práctica de diseño (Horváth, Research differences in the domain of industrial design engineering, 2008, p. 62)

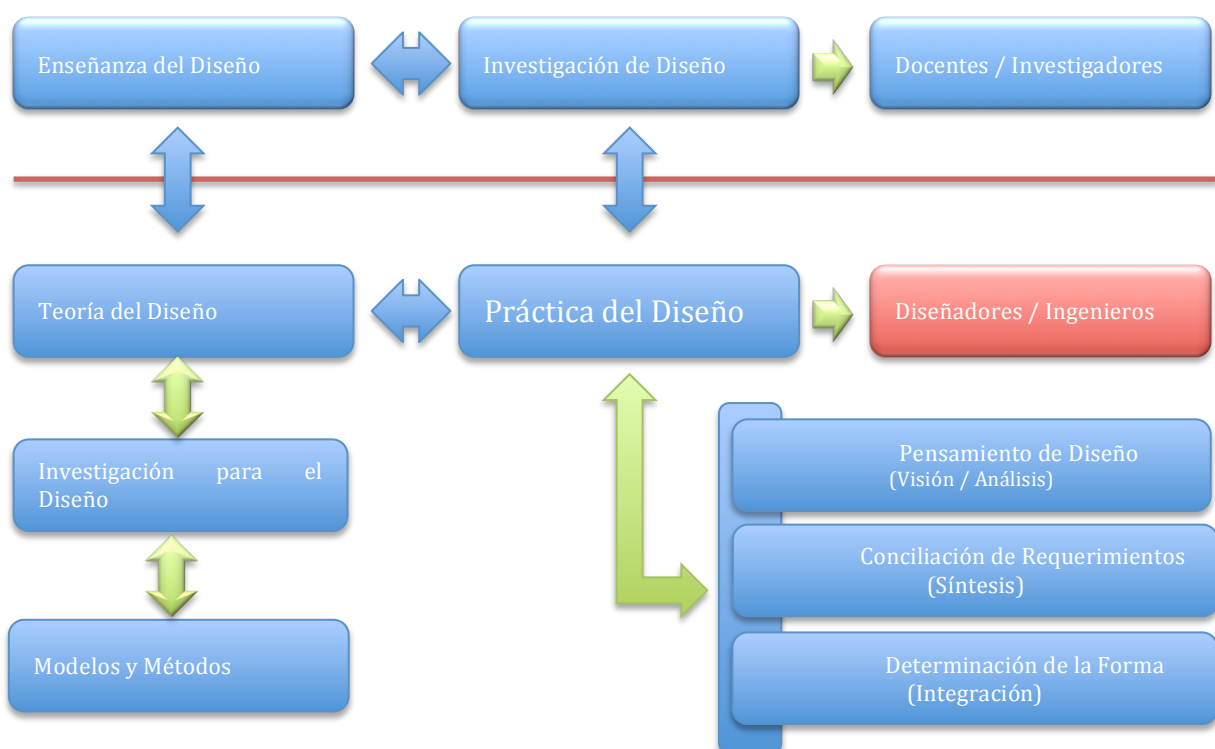


Figura 42 Estructura ampliada de los dominios en la práctica y el rol en los dominios

Teniendo presente que estas relaciones de dominios pueden presentarse de maneras diferentes en el diseño de productos, la ingeniería de diseño o el diseño industrial, es en este ultimo donde centramos la atención en las correspondencias de interdependencia, y el flujo del conocimiento que impulsa sus dinámicas. Se puede decir entonces de manera general que los dominios del diseño pueden orientarse a la enseñanza, la investigación, la teoría y la practica. Y en este flujo, la determinación de la forma dentro de la practica, se identifica con los modelos, métodos y herramientas que permiten este ejercicio teórico - practico. Si bien los dominios constituyen una red indivisible, es posible tratar la practica como síntesis de diversos procesos previos, estructurales y orientadores,

que permite hacer énfasis en los medios y procesos que se dan en el ejercicio creativo de la manifestación explícita de la forma como producto y la pone en relación con otras disciplinas.



Figura 43 Flujo de lo general a lo disciplinar en el dominio de la practica en diseño para la determinación de la forma.

La determinación de la forma como esencia del dominio practico se entiende como fundamental al producir conocimientos propios, dado que apoyándose en metodologías y modelos que apropian conocimientos ya probados en diferentes disciplinas, redundando en los modelos de trabajo y teorías del diseño. Desde esta perspectiva, la esfera de conocimientos del diseñador se estructura a través de la síntesis de variables sobre la forma de los objetos, o de manera directa la transcripción de las variables, los requerimientos y las intensiones sobre una superficie que caracteriza al objeto, lo que conlleva unas competencias reales del diseñador que permiten evaluar, valorar e incorporar condiciones técnicas y del entorno para la determinación de la forma de un producto.

De acuerdo al estudio adelantado por Escuela de Diseño del Instituto Profesional DuocUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, *Educación del diseño basado en*

competencias: Un aporte a la competitividad, los dominios del diseño se relacionan con las áreas del saber de la siguiente manera:

<i>Área del Saber:</i>	<i>Dominio: Conocimientos.</i>
<i>Área del Saber Hacer:</i>	<i>Dominio: Habilidades Intelectuales y Físicas.</i>
<i>Área del Saber Ser:</i>	<i>Dominio: Afectivo (Hinrichsen, 2002)</i>

En donde, el 52% de las competencias de los diseñadores están en el **saber hacer** y en el dominio de habilidades y destrezas intelectuales y físicas. El 29% esta en competencias del **saber**, con el dominio del conocimiento en cuanto a la información, gestión y aprovechamiento de conocimientos especializados de materias vinculadas con el diseño y el 19% de las competencias esta en el **saber ser** de domino afectivo, asociado a los valores, actitudes y juicios en relación a la adaptación personal y social, (Hinrichsen, 2002) lo que permite constatar que el **saber hacer** desde una practica apoyada en los conocimientos como dominio, ocupa más del 50% de las competencias, coincidiendo con las ideas de Archer, Horváth, Beckman, Barry y Preuss entre otros.

La relación de dominios y competencias con sus respectivas valoraciones, resultado de la investigación de Fundep, se pueden ver en el anexo 3.

Una relación de dominios y competencias identificadas en egresados del programa de diseño industrial de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (entre 1997 y 2009) muestra cómo el saber hacer ocupa un lugar preponderante dentro del dominio y las competencias que se consideran de gran valor para el ejercicio profesional y para los empleadores en la industria. Teniendo una valoración muy alta y generando una tendencia de la relación teoría - practica hacia la aplicación concreta, lo que muestra una relación armónica entre la experimentación activa, el análisis reflexivo, la conceptualización abstracta y la experiencia concreta que plantea David y Alice Kolb (Kolb & Kolb, 1984)

Las competencias con mayor valor, señaladas por los egresados son:

Desarrollo de ideas. 87%

Presentación de ideas y productos 87%

Trabajo constructivo y creativo 70%

Descubrimiento de nuevas posibilidades 61%

Experto en pensamiento analítico. 58%

(Prestholt, The many faces of industrial designers: Educating a hybrid of an engineer and an artist. , 2014, p. 6)

De acuerdo al análisis de las encuestas realizadas a diseñadores industriales en ejercicio, egresados de la NTNU (Norwegian University of Science and Technology) hecha por Prestholt (2014) las tareas que más hacen los diseñadores en su ejercicio son: gestión de proyectos, material de presentación y desarrollo de producto, seguidas de estrategias de diseño, interfaces de usuario, bocetación, alternativas de materiales y construcción y asesoramiento en diseño de interacción. Lo más relevante del aprendizaje en la escuela que se aplica en el trabajo, esta: el trabajo en equipo, los temas de diseño y los temas científicos (física, matemáticas, materiales), estrategias de diseño, temas hombre – máquina, la forma y el color. El método de trabajo preferido es por proyectos y en equipo. Las competencias que se aprenden en la escuela y que luego se aplican en el trabajo, son, descubrir nuevas posibilidades, desarrollo de ideas, el trabajo creativo y constructivo, la comunicación interpersonal y habilidades de presentación.

La relación completa de competencias valoradas por los egresados del programa de diseño industrial de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología se puede ver en el anexo 4.

5.1.2 Conocimientos especializados en los dominios del diseño

El conocimiento de los dominios de una profesión son la base para el desarrollo de una actividad profesional eficaz, tanto para quienes inician su ejercicio como para los expertos, independientemente de la complejidad de los problemas que enfrenta, dado que abordar tal complejidad responde más a las estrategias utilizadas o a la gestión de los recursos que de los dominios mismos. Sin embargo el mejor rendimiento frente a la resolución de problemas se da en la práctica reiterada en la aplicación del conocimiento de los dominios. Para el diseño el conocimiento del dominio se construye a partir de la experiencia creativa y de la relación interdisciplinaria que pone en contacto diversos dominios profesionales.

La construcción del conocimiento del dominio a través de la experiencia creativa es el resultado de los análisis y estudios que han adelantado diversos autores sobre el ejercicio del diseño, sobre el manejo de los dominios por expertos y principiantes, sobre la relación de interacción entre el conocimiento del dominio específico de diseño y las estrategias generales y finalmente sobre los modelos generales de conocimiento estratégico en el diseño. Ericsson y Smith (1991), Holyoak (1991) Hatano e Inagaki (1984) Hatano (1988) y

Oxman (2002) entre otros, han identificado diferentes aspectos de estas relaciones y cómo afectan el ejercicio del diseño.

La identificación por parte de Hatano de dos tipos de conocimiento apoyados en la experiencia como son experto en rutinas y experto en adaptación, permitieron a Popovic (2004) revelar el crecimiento en el conocimiento del dominio en los diseñadores a través de la experiencia e iteración frente a proyectos y problemas nuevos, entre tanto los expertos en rutina son muy rápidos y eficaces en resolver problemas conocidos o que guardaban estrecha relación entre si y poca capacidad con problemas nuevos, los expertos en adaptación abordan diversos problemas con eficacia utilizando su conocimiento experto.

El estudio de Popovic (2004) se apoyo en el seguimiento de las estrategias generales, las estrategias de limites o alcances, el conocimiento del dominio especifico, y el conocimiento experimental y la interacción del conocimiento, dentro de las diferentes etapas de formación de los diseñadores (noveles, medios y avanzados) e incluso con diseñadores expertos, encontrando que a medida que se reducen las estrategias de alcances los diseñadores adquieren mayor conocimiento del dominio especifico y se aplica el conocimiento estratégico general, revelado en la estabilidad de las representaciones (imágenes, palabras, formas y la combinación de todas ellas) y que una vez el diseñador demuestra la utilización del conocimiento especifico del dominio dentro de la estrategia de alcances logra los objetivos del proyecto.

En la misma dirección Staszewski (1988) afirma que el desarrollo de las habilidades de los expertos depende de la comprensión que tengan del uso del conocimiento especifico del dominio y que una amplia gama de habilidades cognitivas se desprende de la Memoria Experta dentro de su conocimiento general.

La representación y visualización de los problemas de diseño parece ser un valor importante a desarrollar dentro de las capacidades de los diseñadores en la medida que a partir de ellas se pueden reconocer los conocimientos de los dominios y su uso como herramienta tanto en las etapas tempranas del proceso (conceptual) como en el desarrollo mismo de las propuestas y alternativas de solución. Teniendo en cuenta que el lenguaje visual representa los pensamientos y conocimientos de los diseñadores y al mismo tiempo estimula el pensamiento analítico y creativo generando nuevos pensamientos, se hace evidente que las analogías visuales dentro de un mismo proyecto o de referencias externas potencian las capacidades e influyen en el desempeño creativo de los diseñadores; sobre lo cual Oxman (2002) afirma que *“un alto nivel de conocimiento del dominio de la forma visual podría ser considerado como contenido cognitivo* (Oxman, 2002, p. 135). Y que Popovic

confirma en sus estudios diciendo que “*en el dominio de diseño, las palabras, imágenes y formas en combinación o la forma independiente se utilizan para comunicar los conceptos y representar la comprensión del mundo físico de los artefactos*” (Popovic, 2004, p. 530) lo que permite afirmar que la forma visual como contenido cognitivo fortalece el dominio del diseño en la determinación de la forma y además de representar los pensamientos y conocimientos del diseñador estimula el pensamiento creativo y analítico.

Del mismo modo la representación de los problemas y las soluciones son posibles a partir de las inferencias desde diferentes dominios dentro del diseño o desde otros dominios a partir muchas veces de las analogías visuales que son base para el desarrollo de habilidades y destrezas dentro del dominio de la determinación de la forma. En donde se hace relevante la experticia del conocimiento específico del dominio y la utilización transversal del conocimiento estratégico valorando la experiencia adaptativa como cualidad fundamental en el diseño.

La analogía visual (Casakin) es base para el desarrollo de habilidades y destrezas dentro del dominio de la determinación de la forma. Y la Metaforma apoya este proceso siendo útil tanto en la formación de nuevos diseñadores como en la adquisición de experiencia en el desempeño profesional.

5.1.3 Percepción visual y cognición en el dominio de la determinación de la forma.

La relación entre visión, percepción y cognición para el desarrollo de la forma es una de las líneas de investigación que ha ocupado buena parte del trabajo de diversos investigadores del arte, la arquitectura y el diseño en los últimos años intentando profundizar en las manifestaciones prácticas del pensamiento de diseño y el surgimiento de la forma, con lo cual se han hecho aportes importantes a la definición de dominios del diseño.

Arnheim, Schon, Stiny y Oxman entre otros, desde diferentes perspectivas exponen sus ideas sobre el surgimiento y desarrollo de la forma y cómo los procesos perceptivos mediados por el conocimiento permiten tanto la abstracción como la representación de imágenes, y cómo ello facilita la creación de nuevas formas dentro de lo que Oxman denomina *Cognición visual* (Oxman, 2002, p. 136) refiriendo a la complementariedad entre las teorías de la visión, las funciones de la percepción y la cognición, que da la oportunidad de ubicar el conocimiento del dominio visual dentro de los procesos cognitivos.

La secuencia cíclica *Ver – Operar – Ver* que Schon (1984) interpreta como una conversación reflexiva que hace el diseñador con sus ideas se corresponde con los procesos secuenciales y las representaciones visuales del pensamiento de diseño, el cual se manifiesta como un razonamiento visual y demuestra la evolución dentro de un proceso de diseño del surgimiento de la forma a través de la visualización que impulsa las modificaciones de las representaciones visuales.

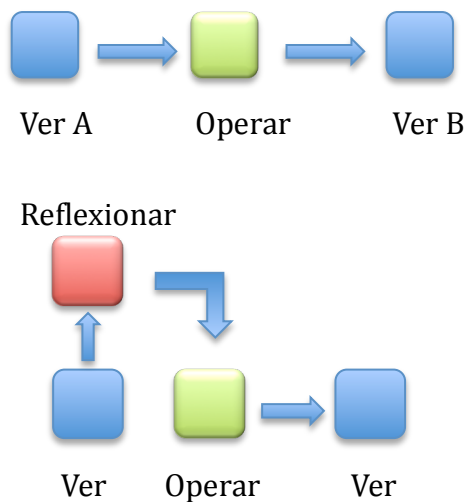


Figura 44 Modelos básico y expandido de ver – operar – ver y la inclusión de la reflexión de Schön

(Oxman, 2002, p. 151)

El surgimiento de la forma se encuentra en relación directa con el sujeto que la define, mediado por su percepción, su experiencia creativa y por la manera propia de organizar sus componentes, asumiendo que las formas se pueden construir y deconstruir a partir de elementos simples, el surgimiento de la forma no se puede considerar como un fenómeno aislado sino que se produce de manera natural por la combinación de miles de factores; de acuerdo a Stiny (1993) bajo una estructura gramatical, que denomina gramática de las formas y que cumple una serie de normas reconocibles o autoimpuestas por el diseñador en donde al igual que dentro de la lingüística se tienen en cuenta las estructuras, los accidentes, la morfología y la sintaxis, teniendo la capacidad de producir una gran variedad incorporando tanto los propósitos y las restricciones como las maneras y las capacidades del diseñador. Simultáneamente Stiny (1993) hace énfasis en el establecimiento de reglas para el surgimiento de la forma dentro de esta Gramática y reconoce la conexión que ellas pueden tener con los parámetros y el régimen algorítmico que ya había tratado en “*Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*” demostrando que no solo aplica para la construcción controlada de las formas y

su representación sino para controlar la manera como pueden cambiar, en un modelo formal - computacional. En esta ultima dirección Stiny (2001) en *How to calculate with shapes* presenta un modelo formal de las matemáticas en los sistemas CAD de la Operación que media la secuencia cíclica de Ver – Operar – Ver, que evidencia las relaciones de la forma con sus representaciones y las reglas de transformación dentro del modelo matemático.

Mas allá de las aproximaciones de la explicación del pensamiento de diseño desde lo psicológico en la Operación como consecuencia perceptual o de la contundencia de la formalidad de la representación paramétrica, el estudio psicológico de la visión de Arnheim (1969) que relaciona la percepción y la cognición visual, haciendo las operaciones de esta ultima indispensables para la percepción misma, son base para la formulación de Oxman en donde sugiere que *“el surgimiento sólo es posible debido a la existencia de estructuras cognitivas superiores, de tal manera que la dirección en una teoría cognitiva de surgimiento debe encontrarse en la relación entre la percepción y la cognición visual”* (Oxman, 2002, p. 138) y permite la comprobación de la compatibilidad entre los enfoques perceptual – cognitivo y formal – computacional, antes mencionados.

La representación de la comprensión visual del mundo comúnmente se da a través de la abstracción simbólica de las formas y particularmente en el diseño la representación de objetos físicos, que bajo ciertas convenciones constituyen un lenguaje simbólico, el cual da lugar a diferentes niveles de abstracción que al representar no solo objetos físicos sino también conceptos denotan el conocimiento del dominio. Las diferentes representaciones y abstracciones de un mismo objeto / concepto permiten la interpretación y dan espacio a la ambigüedad lo cual facilita y motiva la reformulación, constituyendo un proceso de conceptualización dentro del proceso de diseño y no solamente un proceso perceptual del surgimiento de la forma. Oxman (2002) señala que, la condición innata de la ambigüedad en el surgimiento de la forma es la que permite la innovación y al mismo tiempo es un gran espacio para la investigación relacionada con la representación en el surgimiento de la forma dentro del diseño.

Por tanto el surgimiento de la forma más allá de ser un proceso meramente visual - perceptual es un proceso conceptual que denota el conocimiento del dominio del diseño, que sintetiza a través de ella todos los aspectos relacionados con el objeto físico - conceptual representado como proyecto.

Para el surgimiento de la forma, la percepción tiene un lugar preponderante en la determinación de sus atributos y a su vez la imaginación visual tiene un papel relevante en

la cognición visual. Las imágenes mentales se pueden cambiar y transformar progresivamente dentro de un proceso que involucra el conocimiento de diseño, donde la representación como externalización de esos procesos mentales hace posible recuperar imágenes y operaciones de transformación. Una parte significativa del dominio de un diseñador es justamente exteriorizar esas imágenes mentales y los modos de transformarlas.

Apoyada en la propuesta de Stiny (1993), Oxman (2002) sintetiza el proceso de surgimiento de la forma, en donde, bajo la gramática de la forma se suceden los eventos perceptuales y los procesos cognitivos que posibilitan el pensamiento visual y permiten hacer evidente el proceso de transformación, para llegar a la representación y generar nuevos ciclos de generación o surgimiento de las formas.

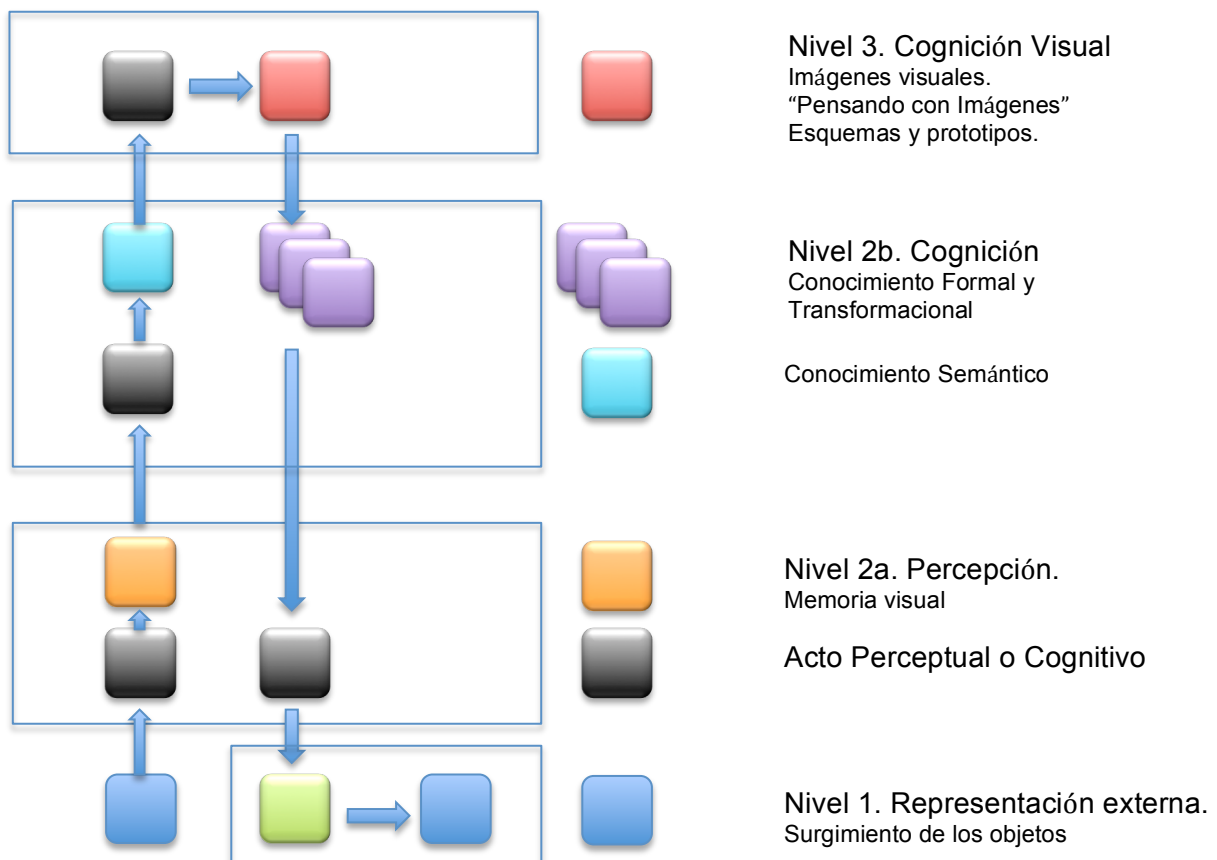


Figura 45 Reconocimiento en un modelo ampliado de surgimiento

(Oxman, 2002, p. 158)

5.1.4 Investigación y campos de acción en diseño y sus dominios.

La disciplina de diseño debe proporcionar un adecuado cuerpo de conocimiento obtenido desde la exploración empírica o la comprensión racional, para ser puesta en practica, y al mismo tiempo la transmisión del conocimiento de diseño da una razón muy importante para la investigación en diseño.

El ejercicio profesional del diseño dentro de su carácter multidisciplinar sobre pasa limites en su práctica que hacen complejo determinar las fronteras de sus campos de acción y sus dominios, lo cual como consecuencia ha permitido que la investigación a su alrededor tome múltiples rumbos sin que ayude a delimitarlos con claridad frente a otras disciplinas. Los diversos intentos por dar orden y categorizar el ejercicio del diseño ha provocado el establecimiento de marcos que van desde el reconocimiento del diseño como una disciplina por derecho propio independiente de las distintas áreas en las que se aplique (Andreasen 2001), hasta aquellas que se circunscriben a explicar el acto de diseñar (Chalmers 1990). Del mismo modo el conocimiento multifacético que aborda el diseño ha impulsado su investigación desde lo epistémico, taxonómico, lógico, cronológico y fenomenológico entre otros y desde los aspectos industrial, tecnológico, educativo, sociológico y práctico entre otros tantos permitiendo interpretar el diseño como una *disciplina parcialmente científica* (Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 156)

El diseño desde su origen como practica establecida ha sido ubicado en medio entre el arte y la ciencia o el arte y la tecnología, pero sus limites aun entre sus diferentes prácticas es difuso y algunas pueden estar más cerca de la ciencia como el desarrollo tecnológico y la ingeniería de diseño o del arte como el diseño industrial, solapando sus propias prácticas, limites y dominios. Sin embargo la investigación en diseño ha procurado identificar de manera ordenada sus reglas y sus diversas estructuras de conocimiento y aunque de manera fragmentada han servido para establecer un orden general y precisar sus campos, categorías y dominios. Horváth (2004) presenta estas relaciones y solapamientos para comprender la ciencia del diseño y la investigación del diseño e identificar el orden que pueden tener o intentar establecer uno a partir de su práctica.

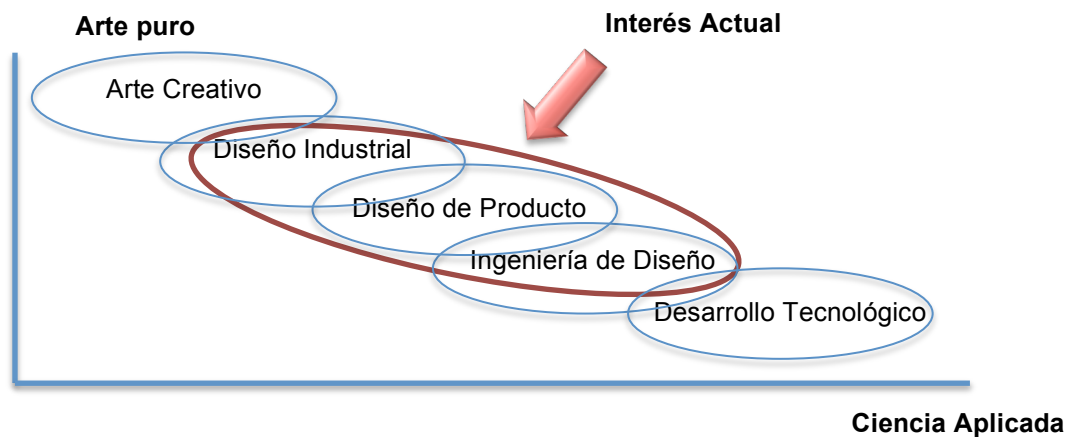


Figura 46 La difusa área de investigación en diseño

(Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 156)

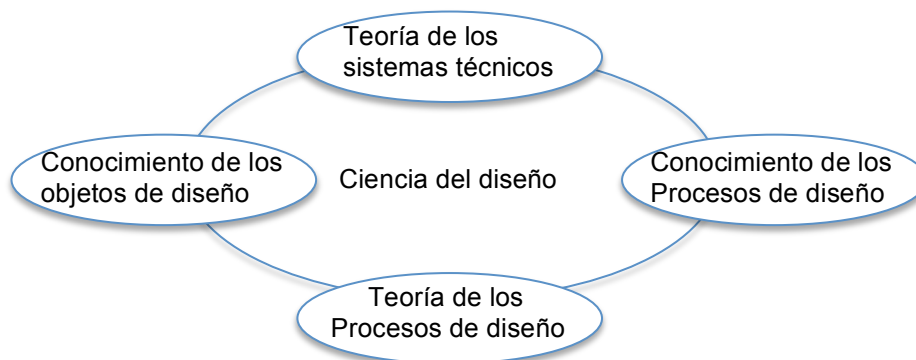


Figura 47 Categorías de conocimiento de ingeniería de diseño sobre la base de la teoría de sistemas técnicos

(Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 156)

Pugh (1990) afirma que la investigación del diseño de ingeniería es un instrumento que permite la exploración, la descripción, la ordenación y la racionalización para la utilización de los conocimiento de diseño, abarcando todos los ámbitos posibles.

El desarrollo desordenado de la investigación en diseño por medio de diversos modelos y métodos, si bien ha aumentado el conocimiento teórico y práctico del diseño, esto no ha implicado la generación de un marco claramente delimitado, aunque si ha contribuido en la medida que la ciencia implica la búsqueda de un orden por medio del conocimiento y de los métodos de investigación; que para el caso del diseño ha de ser la comprensión de si mismo, de sus limites, de sus dominios y del acto de diseñar.

Horváth (2004) ha identificado dentro de su trabajo sobre el desarrollo de la investigación en diseño que ésta se ha abordado desde tres enfoques fundamentales “(1) la clasificación fenomenológica, (2) taxonomización ontológica, y (3) el razonamiento

contextual.” (Horváth, *A treatise on order in engineering design research*, 2004, p. 158) y si bien ellos no son comparables dada su diversidad en el enfoque filosófico y la diferencia en sus objetivos, cualquiera de estos enfoques es aceptable frente a la necesidad de tener una imagen clara y sistematizada de la investigación en diseño. El análisis que hace Hovart comprende desde los primeros planteamientos de Bruce Archer quien identificó diez campos de la ciencia del diseño, pasando por: Finger y Dixon que dividieron en seis áreas de atención la investigación de diseño en ingeniería mecánica, Hubka y Eder que descomponen en cinco componentes un sistema relacionado de conocimientos de diseño, Beheshti y Van der Veer quienes ampliaron la clasificación de Archer y establecieron las áreas de conocimiento en tres categorías y dos dominios, y Fulcher y Hills a partir de la revisión estadística de los temas de investigación en las publicaciones establecen tres categorías primarias y ocho secundarias.

Eekels y Roozenburg (1999) de manera más estratificada y asociada al nivel de abstracción definen cinco niveles que van de lo general a lo específico, Love que parte desde un enfoque Meta teórico cuya conclusión es que los conceptos y teorías son abstracciones cuyas relaciones deben ser analizadas por niveles para cada actividad de la estructura e intentan organizar desde diferentes perspectivas las múltiples acciones frente al diseño y su quehacer parcialmente científico, hasta Friedman que propone una taxonomía de dominios que periten pasar del pensamiento a la acción.

La clasificación de las categorías (áreas, niveles, temas, conocimientos y dominios) tratadas por Horváth en *A treatise on order in engineering design research* con los autores y los años de publicación pueden verse en el anexo 5 y con ello se puede reconocer la evolución y coincidencia de los mismos.

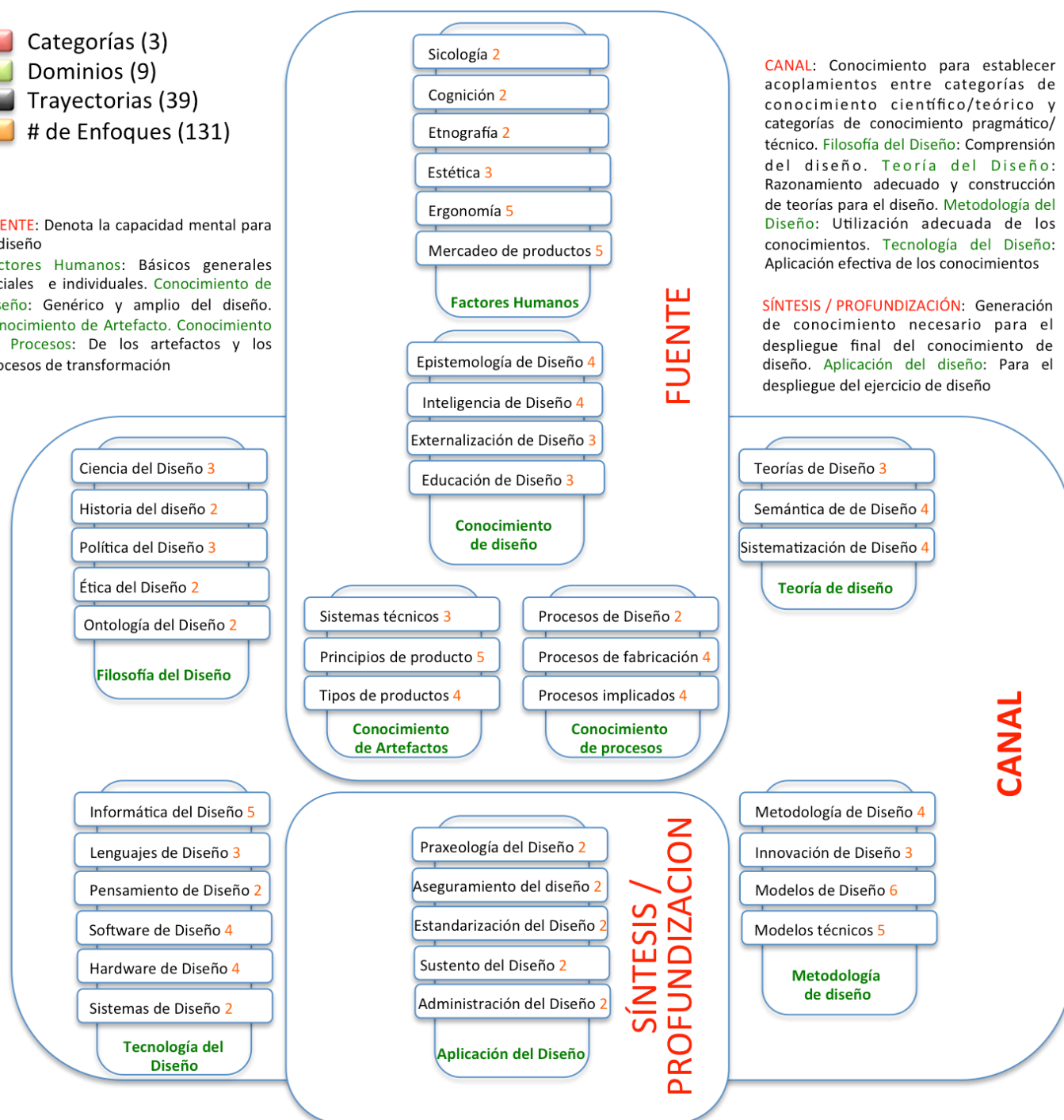
La secuencia lógica usada por Horváth para estructurar un orden en la investigación de diseño y del diseño mismo corresponde a una estrategia de implicación en la reflexión y así dar explicación desde el origen del diseño. Es decir partir de por qué se hace diseño y consecuentemente por qué se investiga en diseño y el diseño. Y para ello se apoya en las afirmaciones de Dilnot (1982), Rzevesky (1991), Ferguson (1992) y Rosemberg (2000) que señalan la satisfacción de las necesidades humanas como propósito e impulso para el diseño y cómo el cumplimiento de éstas explican la ocurrencia y la forma de la ocurrencia del diseño. De tal modo que, como la investigación y el conocimiento del diseño conduce la consecución de fines y objetivos humanos con la creación de artefactos y servicios que contribuyen al sostenimiento del bienestar y la existencia humana, es posible hablar de la teleología del diseño y su función primaria de contribuir a la consecución de tales fines.

El propósito de transformación del conocimiento adquirido desde la exploración empírica para ser implementada en la práctica, como conductor del conocimiento en diseño introduce categorías nuevas y da base a la investigación en diseño, a partir de lo cual Horváth (2004) construye un marco de razonamiento que incluye la fuente, el canal y las áreas de profundización en nueve categorías que a su vez identifica con sus dominios, trayectorias y enfoques. En donde los dominios son ramas de la investigación y representan la competencia o experiencia de un campo como la historia, la ergonomía o la gestión, la trayectoria indica un flujo de operaciones que comparten los objetivos y conceptos de un modelo y el enfoque refiere al tratamiento concreto de un tema de investigación que se le da a una investigación; lo cual supone una estructura jerárquica apoyada en las relaciones semánticas de dominios, trayectorias y enfoques, permitiendo *“una argumentación fundamentada sobre el orden de la investigación del diseño de ingeniería, así como sobre la articulación de los conocimientos de ingeniería de diseño”* (Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 159)

- Categorías (3)
- Dominios (9)
- Trayectorias (39)
- # de Enfoques (131)

FUENTE: Denota la capacidad mental para el diseño

Factores Humanos: Básicos generales sociales e individuales. **Conocimiento de Diseño:** Genérico y amplio del diseño. **Conocimiento de Artefacto:** Conocimiento de Procesos: De los artefactos y los procesos de transformación



CANAL: Conocimiento para establecer acoplamientos entre categorías de conocimiento científico/teórico y categorías de conocimiento pragmático/técnico. **Filosofía del Diseño:** Comprensión del diseño. **Teoría del Diseño:** Razonamiento adecuado y construcción de teorías para el diseño. **Metodología del Diseño:** Utilización adecuada de los conocimientos. **Tecnología del Diseño:** Aplicación efectiva de los conocimientos

SÍNTESIS / PROFUNDIZACIÓN: Generación de conocimiento necesario para el despliegue final del conocimiento de diseño. **Aplicación del diseño:** Para el despliegue del ejercicio de diseño

Figura 48 Marco de razonamiento acerca de las categorías, dominios y trayectorias de investigación de ingeniería de diseño

(Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 160) Traducción y adaptación Byron Villamil.

Los seres humanos pueden tener una relación con el diseño de ingeniería en tres formas. Pueden ser: (1) estudiosos originales de conocimientos generales y específicos de diseño (filósofos de diseño, científico diseño, los teóricos de diseño),

*(2) capaces de resolver problemas de diseño (en metodología de diseño, diseñadores de ingeniería, productos de diseñadores, desarrolladores de sistemas de diseño) (Frankenberger et al. 1998), y (3) los usuarios del producto de diseño (fabricantes, usuarios, comprometidos con el diseño, clientes, estudiantes).*P10(160)
(Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 160)

Dentro de la amplia revisión de la investigación en diseño que hace Horváth (2004) cabe destacar la relación entre diversos dominios y trayectorias y cómo estos se ven afectados por el desarrollo tecnológico e inciden en la transformación de los dominios que orientan la práctica del diseño, más allá de la investigación teórica y epistemológica.

Dentro de los factores humanos la trayectoria estética en diseño investiga las reacciones emocionales y la creación de valores estéticos (Berlyne 1974) así como la apariencia y la percepción de la forma, las funciones y atributos de los productos (Smets 1995); dentro del conocimiento de diseño la epistemología procura revelar la interacción entre la ciencia natural y la ciencia aplicada (tecnología y diseño) reconociendo que gran parte del conocimiento de diseño proviene de las ciencias naturales, sociales y técnicas a través de la misma práctica del diseño; dentro de la filosofía del diseño, la ciencia del diseño, identificada por Simon (1969) como aquella que refiere a cómo deben ser las cosas, y que en algunos casos proyecta la artificialidad en dominios de aplicación como la arquitectura, la gráfica o la ingeniería, revela el estudio científico de la actividad del diseño, o desde otra perspectiva el estudio de una manera científica del diseño (Glegg 1973). Todas estas líneas de investigación se ven transformadas por la informática, los sistemas digitales, las bases de datos, los cambios en el entorno, la transformación de los productos y los servicios, todos ellos impulsados en era digital

Dentro de la teoría del diseño, la sistematización del diseño aporta tanto en la instrumentalización y automatización como en la toma de decisiones y optimización, a través de mecanismos y lógicas cognitivas en la toma de decisiones, búsqueda de soluciones y medios de representación, usando herramientas digitales y métodos de programación, procurando la sistematización general de los procesos.

Dentro de la metodología de diseño, las técnicas de modelado se ocupan de la modelización de las expresiones matemáticas, viso espaciales, verbales-textuales, virtuales y simbólicas de los procesos, los artefactos y los seres humanos, con la especificación de requisitos funcionales y de diseño, permitiendo *“conectar los dibujos y modelos de geometría de la pieza a los modelos de montaje y de comportamiento, y a los modelos de*

las aplicaciones posteriores” (Horváth, A treatise on order in engineering design research, 2004, p. 171). Y dentro de la tecnología del diseño las herramientas mentales permiten explorar teorías y métodos, desarrollar herramientas para la descripción del producto y organizar la información, procurando la interacción de las herramientas, la documentación y los archivos de datos de los productos para disminuir la complejidad informativa de los proyectos.

Todas las áreas son “investigables” y desde todas es posible construir teorías e hipótesis. Todos los diseñadores como todos los profesionales tienen las herramientas, capacidades y destrezas para emprender investigación y más al ser ésta una parte inherente del diseño, lo que no significa que se dedique a la investigación. Pero en la práctica sus competencias y dominios están orientados a la aplicación del pensamiento de diseño, al uso de los medios y herramientas para la determinación de la forma de los productos. Es conocido que sociólogos, filósofos, y humanistas hayan desarrollado investigaciones del fenómeno del diseño

La Universidad Técnica de Delft, ha creado una estructura de basada en los dominios, que articula tanto la investigación como la formación en diseño, con lo cual hace completamente transparente las relaciones del ejercicio profesional con los intereses en investigación. Establece tres dominios fundamentales, Diseño, Tecnología y Sociedad, siendo este último más un componente anexo que un dominio plenamente desarrollado, ya que se considera más un vínculo interdisciplinario. El dominio del diseño está compuesto por seis partes que son: Estrategia de producto, Usuario, Operación, Producción, Creación de la forma y Visualización. El dominio de la Tecnología, está compuesto por cinco partes: Investigación, Diseño, Habilidades intelectuales, Enfoque científico y Comunicación y trabajo en equipo. Finalmente el dominio Sociedad, está compuesto por una sola parte que es la Identidad y sociedad.

Dados los resultados tanto en investigación como en la calidad formativa de la TUDelft, es evidente que ésta es una de las estructuras organizativas más eficientes en tanto a la claridad sobre los dominios del diseño y la investigación que se desprende de ella, tanto en lo teórico como en la práctica profesional. La estructura completa de dominios de la Universidad Técnica de Delft se puede ver en el anexo 6.

Existe una brecha entre las competencias adquiridas en la enseñanza y las competencias requeridas en la realidad de la práctica profesional del diseño, según diversos estudios. A medida que el mundo cambia y evoluciona es de esperar que las condiciones, demandas y necesidades de las profesiones también cambien. Así como el diseño nació en

el cambio de los procesos artesanales a los procesos industriales, los cambios en la industria y la ciencia cambian el diseño y debe evolucionar con ellos.

De acuerdo con Yang et al (2005) la practica del diseño cambia la educación en diseño y esto se da principalmente por el desarrollo de los medios digitales y tecnologías emergentes, que a su vez cambian los medios y métodos de representación, y la creación de modelos. Hay mayor interacción entre los diferentes campos del diseño y los equipos interdisciplinarios, debido a consideraciones como la investigación del usuario, las tendencias de estilos de vida, problemas socio económicos y socio sicológicos, además de una visión ampliada de producto, que pasa de ser un artefacto a un artefacto que incluye sistemas, servicios e interfaces digitales. Liu et al (2013) afirman que los diseñadores deben saber de marketing, diseño, investigación y desarrollo, producción y gestión, y tener una gran capacidad de comunicación, para adaptarse convenientemente a los cambios en las condiciones, necesidades y demandas, tal como, al cambio en las influencias y tendencias, que conducen a alteraciones en la profesión del diseño.

En los estudios de Liu et al (2013) y Erkarlan (2013) se identifica aproximadamente lo que buscan los empresarios al contratar un diseñador, y esperan de él: habilidades en el dominio del diseño, comprensión contextual, conocimientos de diseño, capacidades de planificación e integración, expresión de diseño y conocimiento estético. Lo cual se corresponde a las cinco dimensiones del comportamiento profesional; Negociación, resolución de problemas, aceptación de responsabilidad, habilidades interpersonales y gestión de proyectos, establecidas por Lewis y Bonollo (2002). En donde la negociación se da entre las exigencias de los clientes, usuarios y posibilidades productivas y la evolución de cada una de ellas, la resolución de problemas como competencia fundamental en diseño dado que éste de alguna manera logra, dentro del proceso de diseño, sus objetivos resolviendo los problemas que se le plantean, la aceptación de responsabilidades la asume el diseñador en relación a su autogobierno e independencia frente a los resultados de su trabajo, las habilidades interpersonales dentro del trabajo en equipo y su relación con clientes y usuarios y la gestión de proyectos dentro de la organización y planificación del trabajo y el logro de los objetivos.

De manera general podría decirse que el diseñador esta en medio de la ingeniería y el arte ya que busca que sus diseños cumplan con los cálculos, la construcción y los requisitos técnicos y prácticos, junto con las necesidades de los usuarios dentro de un marco estético. Además usa el asesoramiento de diversas profesiones con lo cual el diseñador requiere habilidades más allá que conocimientos de ingeniería y capacidades

estéticas. Para ello se ocupa de ejercer, a partir de sus habilidades y conocimientos, en diferentes campos y asume roles o papeles diversos como:

Diseñadores en general: Con una comprensión global de los proyectos y visión general de las problemáticas.

Diseñadores de producto: Que busca cumplir con, especificaciones de la función, especificaciones de la forma, enfrentar problemas tecnológicos y con ajustes y adaptaciones del diseño a las condiciones técnicas. Asumiendo dos roles generales, desarrollador de concepto e idea y desarrolladores de producto.

Las habilidades, conocimientos y cualificaciones adquiridos en la escuela por un diseñador están alrededor de: El proceso de diseño, la metodología de diseño. el pensamiento de diseño, la gestión de diseño y la presentación y venta una idea o un concepto, además del trabajo colaborativo. Para un diseñador industrial se suman además: El trabajo en taller, el modelado y modelado 3D, el dibujo, el manejo de software de diseño, las matemáticas, la física, los materiales y procesos de producción, además de familiarizarse con las novedades en estos aspectos.

Las habilidades, conocimientos y cualificaciones necesarios en el trabajo de un diseñador corresponden a: La comprensión del cliente. La visualización de ideas y conceptos, al dominio de las herramientas (dibujo, modelado, construcción), a simplificar los problemas, a trabajar con tareas abstractas y a ser altamente productivo.

El diseñador puede asumir papeles como:

Creador: Con el control total del proceso de diseño. La generación de ideas originales, el dibujo y diseño final. Como el creador y el artista detrás del producto.

Parte de un equipo: el diseñador es quien tiene el pensamiento de diseño y hace parte del proceso de desarrollo y no solo la definición estética o el estilo del producto.

El diseñador puede adoptar roles como:

- Experto en el usuario final: Rol que viene de la necesidad de saber para quien esta diseñando: quien va a utilizar este producto?
- Coordinador: Rol que viene del desarrollo de trabajo en equipo y de ser un experto en usuario final.
- Creador de experiencias: Rol que viene de la planificación de todo lo relacionado con el producto. Empresa, marca, estrategia, etc.

- Impulsor de la innovación: Rol que viene de la perspectiva de diseño de encontrar nuevas soluciones a través de la creatividad.

Prestholt en *Las múltiples caras del diseñador industrial*, concluye que el diseñador industrial necesita competencias y calificaciones en la experiencia profesional y la conducta profesional relacionadas con:

- *La comprensión general de los proyectos*
- *Inserción en el "pensamiento de diseño conjunto"*
- *Dominar el proceso de diseño*
- *Conocer la metodología de diseño*
- *Ser capaz de sistematizar y organizar*
- *Ser capaz de vender ideas o conceptos*
- *Ser capaz de tener una visión general de los trabajos, proyectos e información*
- *Ser capaz de gestionar y completar un proyecto*
- *La colaboración*
- *La comunicación*
- *La negociación*

(Prestholt, The many faces of industrial designers: Educating a hybrid of an engineer and an artist. , 2014, p. 11)

Para mejorar en la formación de los diseñadores y que esto redunde en el ejercicio profesional se hace necesario, trabajar con proyectos y clientes reales, colaborar con empresas e industrias activas que identifiquen claramente el valor del diseño y construir una “caja de herramientas” dentro de los primeros tres años de carrera para potenciar habilidades en dibujo, modelado 3D, y la creación de modelos. Haciendo explicitas las metas del programa en cada etapa y desarrollando muchos proyectos pequeños para poner en practica más métodos de diseño al combinar los conocimientos, por ejemplo al usar cálculos de física para solucionar problemas de diseño.

Si bien para algunos diseñadores orientados a prácticas particulares como de diseño de interfaces, diseño grafico o diseño de servicios IUX valoran una educación más especializada, la gran mayoría valoran la visión general sobre los proyectos y sobre todo los diseñadores industriales con un rol superior o general con un conocimiento general de los proyectos. Es por esto que vale la pena abandonar las dualidades generalista o especialista, teórico o practico, ciencia o arte e identificar aquello en lo que realmente los diseñadores

son únicos y trabajar tanto en ampliar como en profundizar su conocimiento en dominios como la determinación de la forma, en un sentido más amplio, lo que en esta tesis se concibe como Metaforma.

En el Anexo G se pueden revisar las competencias en el programa de ingeniería de diseño industrial Universidad Técnica de Delft, que están directamente conectadas con los dominios y las áreas de investigación.

5.1.5 Una estructura de investigación

La investigación en los sistemas de apoyo al diseño basado en el conocimiento (Rosenman, Radford, Gero, & Coyne, 1990) (KBDSS³⁰ por su sigla en inglés) se sustentan en las clasificaciones de las categorías, los tipos, los dominios en algunos casos y también en las prácticas de diseño, y han permitido generar diversas estructuras que pretenden abarcar tanto la práctica como la investigación. Wang y Duffy (2007) establecen tres capas en una pirámide de la investigación en diseño que tiene base en una capa de la ontología del diseño, pasa por una capa de los modelos y termina en la capa de la práctica del diseño o la aplicación del conocimiento, ofreciendo una estructura organizada en la práctica, que vincula las categorías, los dominios, los conocimientos y la investigación.

El conocimiento de diseño dividido en cuatro categorías, Diseño de artefactos, diseño del proceso, gestión del diseño y conocimientos complementarios para el diseño ha permitido el desarrollo de diferentes KBDSS; de manera más general Takeda et al (1990) y más recientemente otros (Gorti, Brazier y Ball entre otros) lo han agrupado en solo dos categorías, primero el diseño de artefactos que describe los aspectos del artefacto en todo su ciclo de vida con modelos funcionales, estructurales, conductuales y las relaciones causales con otros y segundo el proceso de diseño que puede adoptar dos fases, una fase descriptiva con estudios de protocolo que describen cómo los diseñadores diseñan y cómo se realiza el proceso de diseño, y un aspecto cognitivo que describe, simula y emula el proceso mental del diseñador en la creación, o una segunda fase prescriptiva que puede y tiende a ser computacional que establece cómo debe organizarse y ejecutarse el proceso de diseño.

³⁰ Knowledge Based Decision Support System

Sin embargo resulta de gran utilidad la clasificación en ocho tipos de conocimiento de diseño que hace Wang y Duffy (2007) dado que también involucran otros aspectos que permiten identificar dominios disciplinares e interdisciplinares además del conocimiento que aporta cada proyecto para si mismo. Primero se tiene el conocimiento tácito o implícito y codificado o explícito, en donde el conocimiento implícito es aquel que surge de la experiencia subjetiva, que es personal y contextual, que no se puede transmitir por medio de palabras o formulas, tal como la experiencia en diseño, y de otra parte el conocimiento explícito es aquel que se puede transmitir de diferentes formas (textos, diagramas, imágenes, etc.) y que es comparable y objetivo.

En segundo lugar esta el conocimiento según su disponibilidad, documentado cuando se ha registrado en detalle por cualquier medio y el conocimiento no escrito que puede habitar en la mente pero aun no ha sido registrado y documentado; en tercer lugar el conocimiento de acuerdo al estilo, formal cuando se ha estructurado y organizado con un registro sistemático o informal cuando no tiene una estructura clara y generalmente es simple y básico; en cuarto lugar el conocimiento de acuerdo a su representación, textual generalmente usado para representar las especificaciones, funciones, componentes y reglas de diseño por medio de palabras, números, audio, símbolos y otros, o gráfico por medio de fotografías, dibujos o diagramas.

En quinto lugar en relación a la cognición, puede ser declarativo o del saber que y contiene la descripción de los métodos y los objetos y cómo se relacionan entre si, o puede ser de procedimiento que tiene codificada la forma de hacer ciertas tareas con propósitos definidos; en sexto lugar el conocimiento en relación a su función, que puede ser descriptivo cuando describe lo que un artefacto es y lo que ocurre en el proceso de diseño, o prescriptivo cuando determina las cualidades de cómo debe ser el artefacto y cómo debe llevarse a cabo su diseño; en séptimo lugar el conocimiento según su fuente, que puede pertenecer al trabajo de diseño que se esta llevando a cabo cuando es aportado por el proyecto sobre el que se actúa o el conocimiento de dominio cuando refiere al conocimiento generalizado del diseño que reúne la experiencia previa y es aplicable a diferentes casos de diseño.

Finalmente en octavo lugar el conocimiento según su contenido, que puede ser del artefacto de diseño, que refiere a la naturaleza del objeto, cómo se construye el diseño, cómo se trabajó el diseño mismo y qué elementos de diseño fueron usados, también puede ser de los procesos de diseño, que reúne el conjunto de operaciones y actividades llevadas a cabo para determinar la forma y la estructura del objeto o visto de otro modo el

conocimiento operativo que considera el contexto, el objetivo, el proceso, la justificación y las decisiones de diseño, también puede ser el conocimiento de la gestión de diseño que refiere a las características y propiedades del proceso, es decir la gestión de las actividades de diseño, finalmente también existen otros conocimientos de tipo técnico o social como el medio ambiental, de organización social u organizacional, de preferencias de diseño, de herramientas informáticas u otros que se consideran como conocimientos complementarios del diseño.

La clasificación de ocho tipos de conocimiento de Wang y Duffy (2007) son la base de la pirámide propuesta y lo constituyen: la primera capa denominada capa de ontología o capa de conocimiento de diseño; la segunda capa de modelos o modelos de conocimiento de diseño, como el marco de proceso matemático de diseño, el modelo de co-evolución, el modelo común de datos de producto, el modelo de diseño de fase o el modelo de función, rendimiento y estructura, y finalmente en la capa superior los diferentes modelos de sistemas de diseño basados en el conocimiento KBDSS

<i>KBDSS:</i>	<i>Sistema DeNote</i>
<i>Modelos de Conocimiento</i>	<i>Modelo de Conocimiento Multi-Punto de vista evolutivo de diseño del Trabajo actual.</i> <i>Modelo de Conocimientos Multi-Punto de vista evolutivo del Dominio</i>
<i>Conocimientos de diseño:</i>	<i>Conocimiento de trabajo actual:</i> <i>Función, principio de funcionamiento, solución, partes, comportamiento requerido, comportamiento real, modo de acción deseado, modo de acción real, la construcción, la relación, la restricción.</i>
<i>Conocimiento del dominio:</i>	<i>Función general, el principio de funcionamiento, solución, partes, relación, restricciones.</i>

Un ejemplo de la pirámide investigación de sistemas de diseño basados en el conocimiento KBDSS (Wang & Duffy, 2007, p. 8)

En la pirámide de la investigación en diseño apoyada en el conocimiento, se evidencia que las capas superiores están más enfocadas a los dominios y si bien la capa base o incluso la intermedia pueden ser aplicadas de modo general, la capa superior es necesariamente enfocada en un problema de diseño específico.

Dentro de los conocimientos que intervienen en el proceso de diseño están presentes los conocimientos complementarios dentro del mundo de las ideas, que pueden corresponder a un dominio técnico o social, como las herramientas informáticas o de trabajo en equipo en lo técnico, o el ambiente, la cultura organizacional o las preferencias del diseñador por ejemplo, en lo social, y que según Wang y Duffy (2007) constituyen dos tipos de relaciones topológicas, una teleológica y otra evolutiva, que apoyan desde el mundo ideológico el desarrollo de los proyectos.

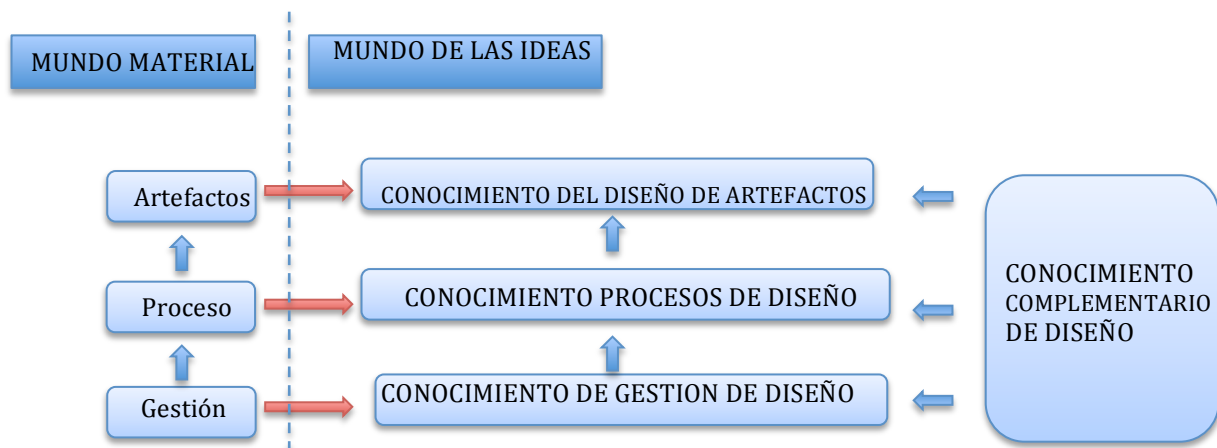


Figura 49 Modelo de topología teleológica del conocimiento del diseño.

(Wang & Duffy, 2007, p. 5), En donde el mundo material esta representado en el conocimiento correspondiente y hace posible la relación con los conocimientos complementarios.

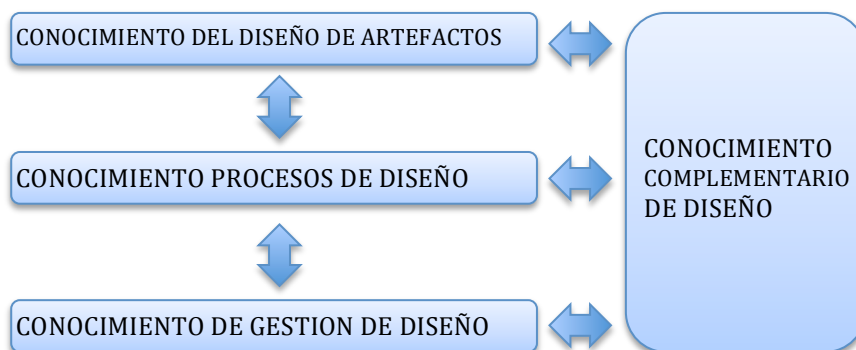


Figura 50 Modelo de topología evolutiva del conocimiento del diseño.

(Wang & Duffy, 2007, p. 6), En donde las relaciones son bidireccionales entre el conocimiento de diseño, artefactos y gestión con los conocimientos complementarios y todos evolucionan mutuamente.

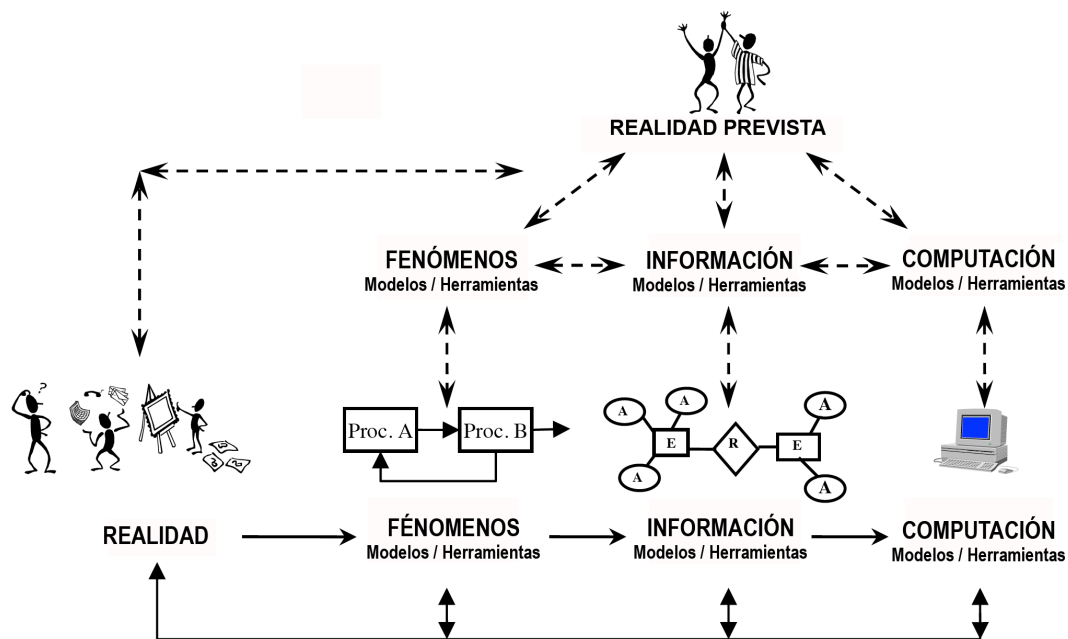


Figura 51 Marco de Investigación Wang y Duffy.

(Wang & Duffy, 2007, p. 8) Traducción propia. En donde se evidencia la similitud con la pirámide de investigación en la medida que ambos contienen tres aspectos de la investigación de diseño, el conocimiento (fenómenos), el modelo y el sistema, permitiendo posicionar a los investigadores su trabajo.

Finalmente en cuanto a los campos de acción, siempre ha habido incertidumbre para definirlos dada la multiplicidad de enfoques, modelos y perspectivas que podrían dar lugar a clasificaciones desde lo más básico, práctico y comercial hasta los enfoques científicos de la investigación en diseño, muchos investigadores presentan argumentos que aseguran su validez y tal vez sea necesario aceptar esa cualidad holística del diseño y no depender de una sola y única delimitación de su capacidad de acción.

Una de estas clasificaciones básicas la presenta Bruce y Stephanie Tharp (2009) en cuatro campos, uno de Diseño Comercial cuyo principal propósito es generar utilidades económicas como principio de los proyectos, sean estos retoques mínimos en los productos o productos completos, una opuesta a la anterior, de Diseño Responsable en donde su principal objetivo es poder ayudar a los más necesitados a través del diseño independientemente de la utilidad comercial o económica, una que se aparta las dos visiones anteriores como Diseño Experimental en donde su intención principal es la exploración, la experimentación y el descubrimiento que puede darse tanto en la práctica a través de objetos, productos y sistemas o desde la teoría y la argumentación en diseño, o finalmente un área como Discursiva del Diseño cuyo propósito es expresar ideas a través de

las realizaciones, lo cual se podría dar usando como medio cualquiera de las anteriores. Sin embargo no es del todo posible abstraer un producto de diseño de las otras áreas por completo y hacerlo como manifestación pura de una de ellas, dado que éstas no son totalmente distintas unas de otras y se superponen.

5.2 Metodologías para la morfo generación, el diseño robusto y paramétrico.

5.2.1 Métodos para el diseño

La evolución en el desempeño del diseño industrial en el transcurso de las ultimas 6 o 7 décadas ha estado marcado por roles distintos del diseñador que se adaptan a los cambios de la tecnología, la demanda y el desarrollo social y comercial, requiriendo para tal adaptación de herramientas, modelos y métodos que le permitan asumir la creciente complejidad de los siempre indeterminados problemas de diseño.

Un acercamiento a la tipificación de los roles del diseñador durante las décadas comprendidas entre 1940 y 2000 aproximadamente, la presenta Valtonen (2005), en donde durante sus primeros ejercicios profesionales reconocidos el diseñador asume su rol de Creador y cuya obra es comparada a la de un artista que colabora con la industria y posee la inspiración, la línea y el boceto final del objeto que sería producido, diseñadores de los que aun actualmente se podrían identificar algunos, muy carismáticos y de relevancia pública, pero que no necesariamente hacen buen diseño, pero capturan la atención del publico y el comercio. Cuyas herramientas están más asociadas a la expresión, representación y comunicación de las ideas y las formas, que cualquier otro aspecto y la tarea de hacer posible su fabricación quedaba en manos de ingenieros, técnicos y expertos en transformación de los materiales.

Pocos años más adelante (años 50 0 60, dependiendo del lugar, Europa, Asia o América, dado que las transformaciones en los roles se dan de manera dispar y entrecruzada en el tiempo) el diseñador asume un rol como parte de un equipo conformado por ingenieros y expertos en mercados, incorporando su trabajo en etapas más tempranas y extendiéndose a etapas posteriores como era su fabricación y uso, con lo cual fue necesario incorporar tanto herramientas de comunicación entre las distintas disciplinas como modelos

y métodos de trabajo que les permitiera coordinar la toma de decisiones y evaluar los resultados de ventas, comercialización y satisfacción en el uso. Esta extensión de los dominios del diseñador y su interacción con otras disciplinas, además de su interés por los resultados de sus creaciones en manos de los usuarios lo condujo a asumir luego el rol de Experto en el Usuario final, apoyado en un creciente fenómeno de teorización de la practica profesional del diseño que le proveyó de métodos y metodologías que afirmaron sus relaciones en la diferentes etapas de los proyectos con sicólogos, sociólogos y ergónomos para dar respuesta a los aspectos relacionados con los usuarios, considerados en ese momento como el centro de atención del diseño.

Consecuentemente a este intercambio profesional entre las diferentes disciplinas asociadas al desarrollo de productos y el diseño, los diseñadores asumieron un rol de Coordinadores de equipos de trabajo, y la gestión del diseño se convirtió entonces en buena parte de la actividad profesional, colocándose como interpretes de las necesidades de los usuarios en entornos específicos y conductores de los procesos de fabricación y comercialización generando identidad en los productos y apoyando el desarrollo de las marcas. Ya en los años noventa el diseñador se hace partcipe desde la base de concepto del producto hasta la planificación estratégica de la empresa como Creador de Experiencias, con dominio de la cartera de productos y la experiencia de marca de los consumidores, apoyado como director de diseño (quien tiene a cargo a otros diseñadores, posiblemente con otros roles distintos) en modelos integrados de trabajo orientados a la planificación estratégica.

Sin embargo en los más recientes 15 o 20 años y en algunos casos otras corrientes anteriores, han tomado rumbos distintos, en algunos casos retomando algún estadio del ejercicio del diseño y otros intentando unir toda esta experiencia en enfoques integradores y más especializados, han sido impactados por el acelerado ritmo de transformación digital e informática, proveyendo de herramientas e impulsando modelos y métodos de trabajo que usan e incorporan el potente desarrollo tecnológico tanto para la fabricación como para el diseño y el desarrollo de nuevos productos.

Ya con anterioridad se veía como los medios digitales favorecían el trabajo creativo haciendo más fáciles los procesos repetitivos, rutinarios y de baja complejidad pero recientemente este impulso ha llevado a hacer más manejable la complejidad, a hacer posible la flexibilidad y la adaptación y ha hacer el trabajo interdisciplinario fluido y altamente productivo. Con esta transformación, la investigación teórica, metodológica y practica del diseño junto con la incorporación de las nuevas tecnologías en el diseño y la producción,

han generado un nuevo florecimiento de modelos, métodos, metodologías, estrategias y prácticas que revolucionan el ejercicio y la enseñanza del diseño. Buena parte de ellas serán las que se revisen y traten en este apartado dando norte a los dominios ampliados y también específicos del diseño.

Alrededor de las denominaciones del ejercicio del diseño se ha generado confusión dado que sus límites parecen no estar muy bien determinados, para algunos esto hace parte de la propia naturaleza del diseño y para otros se convierte en el medio propicio para identificar dominios, alcances, responsabilidades y en el mejor de los casos los modelos y métodos que deben seguir. Ingeniería de diseño, Diseño de productos y Diseño industrial para algunos pueden representar la misma actividad, para otros están contenidos unos dentro de otros y para otros se solapan parcialmente y por ello comparten objetivos, herramientas y medios. Un aspecto común y relevante para cualquiera de estas denominaciones es que implican la integración de diferentes disciplinas para el logro de un objetivo común, el desarrollo de un nuevo producto de diseño y por ello debe considerarse como un ejercicio interdisciplinario que adopta diversos modelos y métodos y crea los suyos propios.

El Diseño de producto es considerado en muchos casos como la ingeniería de diseño (Haik, 2003 – Hollins, 1990 – Pugh, 1996 – Ullman, 2004) y es definido por Roozemburg (1995) como el proceso de elaboración y establecimiento de los planes para la fabricación de un producto, y que se encuentra integrado dentro de un proceso de Desarrollo de Productos, que según Ulrich y Eppinger (2011) debe ser abordado por un diseñador industrial, un diseñador mecánico, un diseñador de electrónica, un ingeniero de fabricación, un especialista en compras, y un especialista en mercados; sin embargo Horváth (2004) considera que el diseño de producto está entre el diseño industrial y la ingeniería de diseño y que estos por sí solos no pueden describir completamente el proceso de diseño de producto.

La Ingeniería de diseño frecuentemente está asociada al diseño mecánico (Haik, 2003 – Pugh, 1996 – Ullman, 2004 – Lindbeck, 1994) y definida como el proceso por el cual una necesidad se satisface con una solución que se transforma en realidad como producto, en un proceso preciso, sistemático, mecánico y casi matemático en donde se transforman las necesidades del cliente en valores de ingeniería, requisitos funcionales y parámetros de diseño, usando métodos como el despliegue de las funciones de calidad y la teoría axiomática.

El Diseño industrial ha sido referido generalmente a la estética industrial, al refinamiento de la forma y el color en función de las necesidades de los clientes (Lorenz, 1986 – Lindbeck, 1994 – Ulrich y Eppinger, 2008) y estrechamente vinculada con los métodos para hacer productos estéticamente atractivos para los consumidores y de allí se desprende su preocupación por comprender la percepción de las personas; sin embargo el diseño industrial acorde al desarrollo tecnológico y la necesidad de desarrollo de nuevos productos ha ampliado su actuación más allá de lo estético al campo de la ergonomía, incidiendo en la facilidad de uso (Flürsheim, 1983 - Lorenz, 1986 - Lindbeck, 1994) y al campo de los procesos de producción, reduciendo tiempos, costos y procesos en la fabricación, generando con ello valor en el rendimiento empresarial, haciendo uso de sus habilidades artísticas.

A partir de estas delimitaciones se puede considerar: El Diseño de Producto como el regulador de un proceso más amplio, La Ingeniería de Diseño como quien se ocupa del desarrollo mecánico operativo del producto es decir la parte interna, y el Diseño Industrial como el encargado de desarrollar la parte externa, estética y de comunicación e interacción, de tal modo que el diseñador industrial esta más ligado al desarrollo estético y de allí su consideración en el dominio de la forma.

El diseño de productos no se debe considerar únicamente como el diseño de bienes materiales, teniendo en cuenta que éste participa en la concepción, planificación y realización de productos en diversos dominios más allá del diseño industrial y la ingeniería de diseño, con lo que la definición de productos que hace Margolin como *“los objetos materiales e inmateriales, actividades y servicios y sistemas complejos o entornos hechos por el hombre que constituyen el dominio de lo artificial”* (Margolin, 1995, p. 122) permite incluir todos los resultados de cualquier actividad de diseño, pero al mismo tiempo plantea la incertidumbre de, qué se debe considerar un producto de diseño?. En respuesta a ello DiSalvo plantea una lógica para discernir lo que es un producto haciendo un examen de las dimensiones que lo constituyen y que considera son: su materialidad, su expresión, su función y su forma, advirtiendo que si bien es una manera común de análisis de las cosas dentro del discurso del diseño y se remonta a la poética de Aristóteles, lo que busca es dilucidar una poética desde la perspectiva del diseño, señalando que:

Forma, función, expresión y material son importantes en las descripciones objetivas y subjetivas del producto. No es que los propios términos sean diferentes, sino más bien cómo se utilizan los términos, es decir, la manera en que operan en la descripción del producto. Examinando el producto como un esfuerzo subjetivo multi-

dimensional nos obliga a ver el producto como una serie de relaciones necesarias y reflexivas, primero dentro de cada una de las dimensiones, a continuación, entre ellas, y, finalmente, entre el producto y su uso. Esta perspectiva no niega el producto en su conjunto. Las dimensiones interactúan entre sí para comprender el todo. Pero la integridad del conjunto depende de las relaciones de las dimensiones: la manera en que operan en la cooperación y la tensión entre sí. (DiSalvo, 2006, p. 36)

De tal modo que reconociendo las cualidades de estas dimensiones y sus relaciones entre si y con su uso en el entorno se pueden definir los productos de diseño, la pertinencia del diseño industrial, la ingeniería de diseño, el desarrollo de productos y de cierto modo, las herramientas, modelos y métodos necesarios para su creación.

Dentro de las dimensiones planteadas por DiSalvo la Función como el principio por el cual se define y evalúa, y el Material, como aquello con lo que el producto esta construido, dan razón de ser a la Forma y la Expresión, que establecen la existencia como producto por medio de la interacción en el uso. Podría decirse que la expresión es la manera de cómo la materialidad es representada en el producto y la forma es el camino de la expresión. Ahora bien la Forma al mismo tiempo refleja las ideas y las emociones y comunica los valores sociales y culturales importantes. Con ello cabe considerar la Forma como la síntesis y manifestación del ejercicio del diseño y del producto de diseño.

Para abordar el reconocimiento de la forma como dimensión o domino en su complejidad vale decir primero que ella no se refiere únicamente al aspecto, al volumen, a la composición y menos al estilo de un producto, como se ha tratado comúnmente desde una perspectiva material en la que solo se describen las cualidades sensoriales, sino por el contrario la forma es *“la totalidad de la experiencia del producto, unificada y estable, pero abierta a la interpretación y el cambio”* (DiSalvo, 2006, p. 8) y al mismo tiempo evidencia de la organización de las relaciones entre las dimensiones funcional, expresiva y material, en un equilibrio dispuesto al usuario quien finalmente da un particular significado y utilidad.

La construcción de la forma y su significado siempre han estado en el discurso del diseño sin embargo su importancia no ha sido siempre revelada ya sea por que se tiende a banalizar en el esteticismo más superficial o en el estilo, o por que se sobre entiende como parte de la ecuación del diseño, pero ya antes se ha señalado este vacío cuando Dilnot (1989) en el *Estado de la historia del diseño*, advierte que *“El concepto de la forma es totalmente básico para diseñar, y así despojada de significado en la tradición formalista, los diseñadores e historiadores de diseño no se han dado cuenta de la plena implicación y la*

importancia del concepto” (Dilnot, The estate of design history. Part 2. Problems and possibilities, 1989, p. 248), sin embargo la reivindicación de la forma como dominio fundamental en diseño también tiene orígenes identificables, sobre los cuales vale la pena tomar apoyo, de una parte como *objeto de imitación* dentro de la poética de Aristóteles donde no se imita un objeto sino un *estado deseado de ser* que tiene *magnitud digna y completa* (Telford, 1968, p. 11), o de otra parte como experiencia en el arte, según Dewey (1972) la forma son patrones comunes entre experiencias y “*refleja las emociones y las ideas, que son las principales instituciones de la vida social*”. (Dewey, 1980, p. 6).

Las relaciones de las dimensiones del producto responden a los criterios de diseño para su propia conformación, pero también deben responder a las relaciones deseadas con los usuarios dentro de un entorno previsible de uso, por tanto se dan las relaciones dimensionales tanto al interior del producto como al exterior, en donde el usuario hace una reconstrucción personal a partir de su percepción creando su propia experiencia de producto; de tal modo que la forma del producto surge del ordenamiento de las relaciones dimensionales dentro de la unidad, a pesar del desequilibrio que se presenta generalmente en las dimensiones y que conlleva a diferentes tipos de productos y por ende de experiencias.

Múltiples enfoques metodológicos y diferentes modelos de trabajo han caracterizado el ejercicio del diseño, sin embargo desde la perspectiva del diseñador en la actualidad, los focos de acción se centran en el diseño para la robustez, para la optimización y la flexibilidad y en la cognición del diseño, lo que representa su capacidad como experto de entender, razonar y aplicar un pensamiento inteligente al diseño. Lui y Boyle (2009) ofrecen una estructura, desde diferentes perspectivas, de los métodos más estudiados y aplicados en las ultimas décadas, sobre el cual se han identificado diseñadores e investigadores que reseñan su trabajo, tales perspectivas y métodos son:

Diseño robusto

Se denominan productos robustos aquellos que han sido diseñados de tal forma que mantienen sus características de calidad con un mínimo nivel de variabilidad aunque estén sometidos a cambios externos, internos o en los procesos de producción.

Taguchi y Yokoyama, 1993, Downey et al (2003), Jiang y Allada (2005), Zakarian et al (2007), Yassine (2007), Xue et al (2008), entre otros.

Cognición en el diseño

La cognición en el diseño es el estudio que tiene como meta entender los

mecanismos mediante los cuales los ingenieros de este campo procesan y solucionan los problemas. Estos estudios analizan el proceso de diseño seguido por estos con el fin de identificar las técnicas desarrolladas durante el proceso de diseño.

Hatchuel y Weil (1999, 2002), Maher y Tang (2003), Moss et al (2004), Kazakçi y Tsoukias (2005), Houseman et al (2008), Howard et al (2008), entre otros.

Optimización en diseño.

La optimización en ingeniería del diseño es la búsqueda del camino correcto o ideal para realizar la actividad de diseño. El fin de este campo es conseguir un proceso igual o más eficiente mediante la reducción en la utilización de recursos.

Genrich Altshuller (1956), Bariani et al (2004), Hung y Hsu (2006), Zhao et al (2007), Huang et al (2008), Kobayashi et al (2009), entre otros.

Flexibilidad del diseño

La flexibilidad es la habilidad o el potencial de cambiar y adaptarse a una serie de estados diferentes (Gupta, 1989). Este modelo representa uno de los factores más importantes para las empresas, las cuales, presionadas por el rápido avance de la tecnología, se ven obligadas a actualizar sus productos constantemente.

King y Sivaloganathan (1999), Kazmer y Roser (1999), Rajan et al (2005), entre otros.

Perspectiva del cliente

La perspectiva del cliente se hace necesaria debido a la gran competencia presente en el mercado, cada vez más saturado de productos similares en el que el cliente posee un gran poder de decisión.

Desde la perspectiva del cliente, los focos de acción se centran en la gestión de las necesidades, el diseño para la estética, DpE (en inglés DfA, *Design for Aesthetics*) y en la ergonomía.

Gestión de las necesidades

Se ocupa de Identificar correctamente las necesidades del cliente en las primeras etapas del desarrollo de un producto, es uno de los puntos más importantes en todo el proceso. Fallar en este aspecto es crítico y las consecuencias negativas incluyen, por ejemplo, modificaciones en la producción, incremento de costes, retraso en el lanzamiento al mercado, insatisfacción del cliente y reducidas cuotas de mercado (Cooper, 1999).

Shu (2001), Chen et al (2003), Humus et al (2008), Guenov (2008)

Diseño para la estética

El diseño para la estética trata aquellos aspectos de la ingeniería del diseño pertenecientes o relativos a la apreciación de la belleza y se utiliza para denotar las cualidades que posee un objeto y las emociones placenteras que este transmite en su uso.

Mitsuo Nagamachi (1995), Macdonald (2001), Barnes y Lillford (2007), Córdoba-Roldan et al (2009), Mengoni y Germani (2009), entre otros.

Diseño para la ergonomía

La ergonomía es la ciencia que se ocupa del estudio del ser humano y su adecuación al medio de trabajo. Para ello trata de mejorar la productividad y aumentar el rendimiento del individuo incrementando su comodidad.

Helander y Lin (2002), Demirvilek y Sener (2003), Colombo y Cugini (2005), entre otros.

Perspectiva de la comunidad

Fruto de la progresiva concienciación de la sociedad y las regulaciones de los Gobiernos en materia medioambiental, surge la perspectiva de la comunidad como un enfoque que tener en cuenta en la ingeniería del diseño.

En esta sección se presta especial atención al ecodiseño, en el que el diseñador debe prestar especial atención al diseño para el medio ambiente, DpMA (en inglés, DfE, *Design for Environment*) y el diseño para el desmontaje, DpD (en inglés, DfD *Design for Disassembly*).

Diseño para el medio ambiente

El diseño para el medio ambiente trata de incorporar los asuntos de interés ambiental a los parámetros tradicionales del diseño.

Hopkinson et al (2006), Wang (2007), Choi et al (2008), entre otros.

Diseño para desmontaje

Tal como su nombre lo indica es aquel modelo que prevé la actualización y el reciclaje de productos o piezas de productos desde su etapa de diseño, para lograr el menor impacto ambiental posible.

(Tsai, 2003), Dong y Arndt (2003), Sodhi et al (2004), Cappelli et al (2007), entre otros.

En el Anexo 8 se encuentra una revisión de artículos publicados en la Revista de Ingeniería de Diseño de los años 2001 al 2008 bajo la estructura propuesta por Liu y Boyle,

que incluye una recopilación hecha por Horváth.

La evolución del diseño se ve significativamente afectada por el desarrollo tecnológico y los cambios socio culturales, más que por dinámicas propias, lo cual afecta sus modelos y métodos, su marco conceptual, su practica y su enseñanza, lo cual ha sido tema de seguimiento e investigación para adaptarse progresivamente y responder con eficacia a los cambios más importantes. La denominada era de la información a la medida de su inserción en diferentes campos de conocimiento ha tenido su propia evolución y ha generado cierta inestabilidad o permanente retraso en aquellas disciplinas que cada vez más apoyan su ejercicio en los medios digitales y el manejo digital de la información.

En el caso particular del diseño a partir del impulso que signifíco desde la metodología la incorporación de sistemas de control de calidad, evaluación de impactos ambientales, control de procesos de producción, flexibilidad en la producción y otros asociados a la toma de decisiones, y desde la representación por sistemas CAD, NURBS y manejo paramétrico, son grandes los cambios que se han producido y han afectado profundamente sus límites y definiciones, sus prácticas y su enseñanza. Particularmente Cross y Broadbent (2003) han analizado estos cambios en la practica del diseño en la era industrial y de la información, apoyados en la Teoría General de Evolución de Laszlo (1996) que como características fundamentales de la evolución de los sistemas señalan la Informatización para hacer frente a los grandes flujos de información, la Convergencia como estrategia evolutiva, la divergencia como medio para la creación, la complejificación como resultado de la evolución de los sistemas, la Co-Evolución como estrategia operativa de colaboración, la creatividad como resultado límite del caos y la responsabilidad social como una necesidad frente a la débil unión de los sistemas sociales cada vez más complejos.

Y sus conclusiones a modo de principios orientan la lectura de las tendencias y fenómenos actuales. Entre sus conclusiones más importantes están por ejemplo que ni la práctica del diseño ni su educación han aprovechado las ciencias holísticas a pesar de la naturaleza intrínsecamente holística del diseño, que las nuevas prácticas del diseño están regresando a la sociedad y que el diseño es cada vez más importante para otras disciplinas y por tanto el diseño colaborativo prevalecerá debido a la creciente complejidad del diseño y de la participación de los usuarios y finalmente que los rápidos cambios culturales exigirán un aprendizaje permanente del diseño, apoyado en desarrollos tecnológicos como la virtualidad. Una transformación revolucionaria y no una simple evolución permitirá la integración efectiva de los principios señalados por Cross y Broadben dada la emergencia de la ciencias holísticas del caos y la complejidad que la practica y la enseñanza del diseño

apenas están explotando.

A partir de la caracterización de Simon (1969) del diseño como un proceso de búsqueda, para ser entendido como una ciencia de lo artificial, adoptando un modelo de objetivos, alternativas y operadores para los diferentes dominios y problemas de diseño, Maher compara este modelo generalizado de Búsqueda en donde los objetivos son bien definidos previamente y el enfoque no se cambia, con los modelos de Exploración que si permiten el cambio de enfoque como los espacios de búsqueda y soluciones, y el modelo de Co-evolución en donde los dos espacios de búsqueda y soluciones cambian a partir de la interacción mutua.

El proceso Co-evolutivo natural ha inspirado el desarrollo de una clase de algoritmos computacionales denominado Computación Co-evolutiva (Paredis, 1998) y con base en ella el Diseño Co-evolutivo desarrollado por Maher (1994), en donde se asume el espacio de búsqueda (exploración en diseño) y el espacio de soluciones (alternativas de diseño) en paralelo, como base para la evaluación de alternativas en el proceso iterativo que caracteriza las búsquedas de soluciones en diseño, de tal modo que los requisitos y las soluciones evolucionan por separado pero afectándose entre si, bajo un modelo computacional y con la aplicación de algoritmos, lo que se ha denominado Algoritmos Genéticos de Co-evolución.

Para la aplicación del diseño computacional co-evolutivo se utiliza un algoritmo genético en los espacios de búsqueda con una representación Genotipo / Fenotipo y unos operadores como cruce, mutación, reproducción, selección y evaluación de aptitud, lo cual da una base para la evaluación en el espacio de diseño o soluciones y a su vez la aplicación en el espacio de las soluciones proporciona una base para evaluar el espacio de búsqueda o de problemas, de tal modo que la convergencia de estos resultados en ciclos repetidos permite tener focos y enfoques distintos por cada Generación.

5.2.2 Métodos para el diseño paramétrico

El diseño colaborativo o la simple colaboración en las diferentes etapas de diseño entre todos los actores del proceso, requiere la introducción en etapas cada vez más tempranas de apoyo en sistemas informáticos y más aun con la presión sobre la reducción de tiempos y costos de desarrollo. El uso de diversos sistemas de apoyo computarizado que usan parámetros y restricciones para definir el producto desde diferentes aspectos como la

geometría, la cinemática, los sistemas eléctricos y de controladores, entre otros y aquellos que permiten evaluar el producto o aspectos particulares de él como la ingeniería, el análisis de elementos finitos y simuladores dinámicos entre otros, requieren intercambiar información de manera directa sin la pérdida de los atributos, restricciones y parámetros establecidos en cada uno de ellos. Una parte de las estructuras de información paramétricas se obtiene de los modelos de datos de producto, de la programación lógica de restricciones (ISO 2001) o en algunos casos de plataformas de diseño concurrente, sin embargo Kleiner et al (2003) han desarrollado un modelo extendido de información paramétrica que media e interconecta las diferentes plataformas de apoyo denominado Puente de Enlace de Restricciones (Colibri, Constraint Linking Bridge) que representa objetos reales y virtuales como piezas, ensambles o modelos y a cada uno corresponde una versión sea por la clase de objeto o por las definiciones del programa de origen.

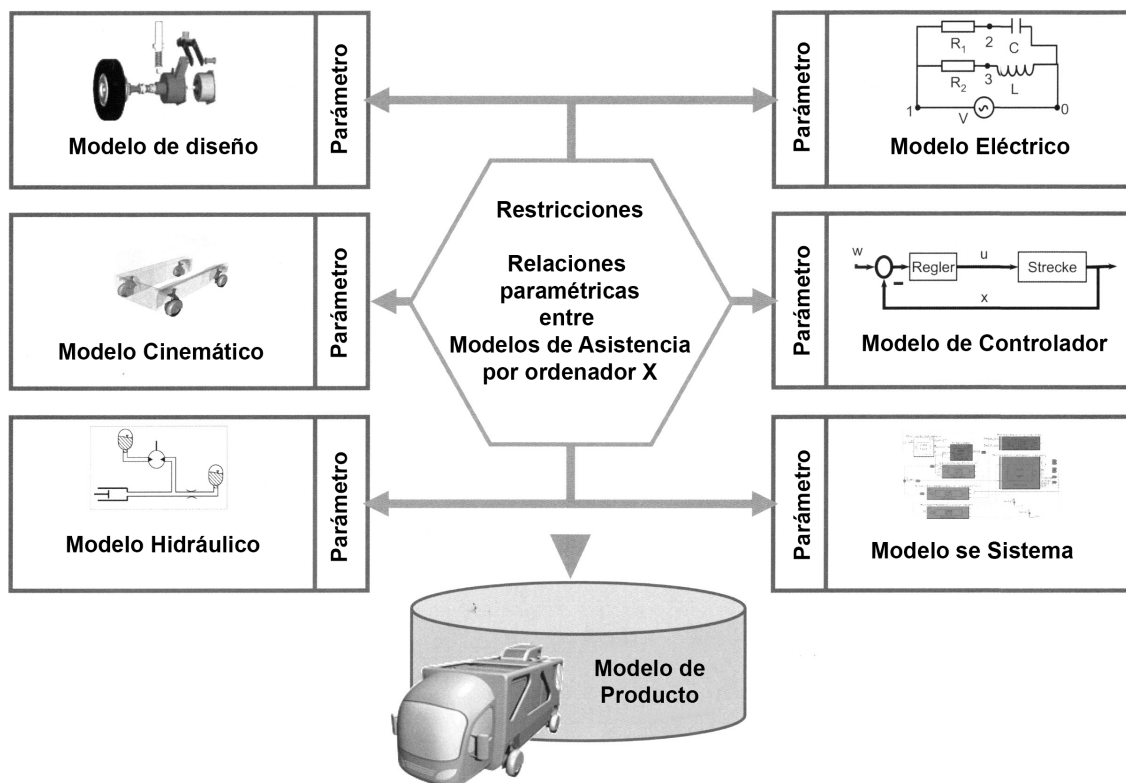


Figura 52 Restricciones interdisciplinarios entre los modelos de productos.

(Kleiner, Anderl, & Grab, 2003, p. 422) Traducción propia.

El modelo de información paramétrica extendida de Kleiner et al. plantea que “*por una parte una limitación restringe al menos un parámetro y por otra parte un parámetro puede ser restringido por varias limitaciones, con lo que construyen una red de restricciones. Los diferentes tipos de restricciones se implementan en las subclases con el fin de*

caracterizar la relación entre parámetros en detalle" (Kleiner, Anderl, & Grab, 2003, p. 423) con lo cual la integración paramétrica basada en las restricciones permite intercambiar y analizar las estructuras de modelos y sus propiedades vinculando los diferentes modelos de apoyo computarizado para la optimización del producto.

Si bien se viene utilizando el diseño paramétrico y la morfogeneración a partir de algoritmos, creando obras y productos hasta hace poco tiempo inusuales y complejos dada su sofisticación técnica, son pocos los estudios frente a los procesos generativos y evolutivos del diseño paramétrico desde los procesos creativos.

Diversos puntos de vista en múltiples investigaciones han procurado tener un acercamiento a la comprensión de los procesos creativos tanto de las formas tradicionales de trabajo a partir de dibujos y bocetos hechos a mano, como de aquellos que usan distintas herramientas digitales para dibujar, bocetar y modelar las propuestas de diseño, presentando algunas contradicciones pero finalmente dando validez a los dos modos de trabajo y destacando los aportes que hacen al aumento de la creatividad o la fluidez del trabajo de los diseñadores.

Dentro de quienes han investigado sobre el proceso creativo en las primeras etapas conceptuales haciendo uso de bocetos hechos a mano como Suwa et al (1999), Benami (2002), Hasirci (2007), Horváth (2007) Kim et al (2010), y quienes han comparado en el mismo proceso y etapa, los bocetos frente a la aplicación de herramientas CAD, como Verstijnen et al (1998) y Bilda ((2003), han identificado que muchas de las actividades del proceso de bocetos están vinculadas con la creatividad de diferentes maneras y que la flexibilidad del dibujo hecho a mano permite la intervención intuitiva del diseñador, frente a las dificultades que pueden presentar las herramientas CAD en su aparente inflexibilidad dado que requiere de otras habilidades para su manejo, sin embargo permite un alto grado de complejidad que los bocetos a mano difícilmente pueden lograr.

El uso avanzado de las herramientas CAD de diseño paramétrico que generan imágenes interactivas se aproximan más al uso flexible e intuitivo y por tanto logran cualidades del boceto dibujado a mano como la reconstrucción iterativa y regulada y la correspondencia a imágenes mentales, con lo cual el diseñador se retroalimenta con las características visuales, espaciales y de organización. Akin (2004) sugiere que las herramientas CAD deben tener posibilidades de gestión en cuanto a las relaciones entre las partes y la unidad, la geometría y la topología, las jerarquías y las subordinaciones y al mismo tiempo la posibilidad de reestructuración de los problemas y los parámetros.

Más recientemente los estudios sobre la creatividad con el uso de herramientas digitales en el diseño y particularmente en el diseño paramétrico han revelado un enorme potencial en crecimiento de apoyo a la creatividad y la capacidad de codificar y evaluar los procesos generativos, Aish (2005), Madkour et al (2009) Iordanova et al (2009), y su relación con los procesos del pensamiento divergente y convergente Lee et al (2011), que son los procesos mentales más importantes en los modelos de creatividad.

Lee et al, señalan que el *“El pensamiento divergente está conectado a los parámetros y las reglas generativas disponibles en entornos de diseño paramétrico, mientras que el pensamiento convergente comprende las normas que definen las restricciones para la respuesta más correcta (o satisfactoria) a una pregunta de diseño”* (Lee, Gu, Jupp, & Sherratt, 2014, p. 169), lo que revela la validez del modelo de actividad cognitiva de tres bucles, Redefinición del Problema, Estimulación de Ideas y Reutilización, propuesto por Chusllp y Jin (2004) en cuanto a la evolución del diseño basada en la reiteración y regeneración de parámetros y reglas (algoritmos) y cómo el diseño paramétrico generativo mantiene el pensamiento convergente y divergente tanto en las etapas conceptuales como en la etapa de bocetos. Lee et al (2014) concluye en su estudio piloto que el diseño paramétrico brinda herramientas que apoyan mejor el pensamiento divergente y proveen procesos que permiten la regulación y la reconstrucción, mejorando la creatividad en los diseñadores.

El desarrollo del pensamiento de diseño y la integración de múltiples disciplinas en su ejercicio, son demandas que los diseñadores hacen a las herramientas de modelado, además de ser abiertas para la integración de herramientas de otras disciplinas, flexibles frente a la interacción e intercambio con otros dominios y adaptables a nuevos desarrollos o proyectos específicos. El paso de los modeladores paramétricos de atributos fijos (restricciones) y variables (parámetros) ha servido en primera instancia a la reutilización del diseño, para no empezar cada vez de cero, pero las demandas y la evolución de sus herramientas propias y complementarias, ha hecho que tengan cada vez mayor flexibilidad y adaptabilidad. Dentro de las diversas herramientas de diseño paramétrico se pueden identificar dos grupos, de acuerdo con Salim y Burry (2010), el primero de aquellas en donde son posibles las asociaciones entre puntos, líneas, superficies y sólidos, y sus descripciones matemáticas con parámetros, como Grasshopper o Generative Components, y un segundo grupo de aquellas que encapsulan las descripciones paramétricas por componentes, de manera similar a la programación orientada a objetos, en pequeños paquetes ricos de información conocidos como BIM (Building Information Modeling) en herramientas como

Revit, Archicad o AllPlan.

Tanto grasshopper como Generative Components tiene una interfaz de usuario que despliega ventanas de diagramas simbólicos, ventanas del objeto y ventanas 3D interactivas que permiten en tiempo real ver los cambios y transformaciones ya sea modificando los parámetros y restricciones o directamente la geometría, permitiendo una gran rapidez, flexibilidad y capacidad de exploración al diseñador siempre dentro de los límites geométricos y dimensionales establecidos, manteniendo las intenciones de diseño.

La interfaz de los modeladores paramétricos es *“análogo a un diagrama de objetos de una aplicación de software. De hecho, la noción de componentes, parámetros, restricciones y asociaciones en un modelo paramétrico se parecen a las del paradigma de la programación orientada a objetos”* (Salim & Burry, 2010, p. 478) y por ello se hace necesario comprender los sistemas de programación dado que de alguna manera estos diagramas simbólicos son una forma amigable de programación desarrollada para diseñadores que no necesariamente tienen las competencias informáticas para la programación.

Los diseñadores necesariamente deben cuantificar su diseño en cuanto a la forma, los componentes y las asociaciones, con lo cual se generan las variaciones, el potencial de exploración y la posibilidad de adelantar o regresar en los cambios sin perder las variaciones, con lo que surgen las secuencias de comandos y las líneas de codificación (programación) que personaliza el diseño e inserta las intenciones de diseño. Al respecto Hesselgren citado por Aish y Woodbury (2005) menciona que *“la ventaja de utilizar Generative Components es que me ayuda a pensar acerca de lo que estoy haciendo. La desventaja es por lo que me obliga a pensar”*, ya que las nuevas herramientas afectan los modelos de trabajo y la creatividad, pero sobre todo por que obliga a adaptarse a ellos, ya que potencian las posibilidades del trabajo y se están convirtiendo en el uso común.

La comunicación entre los modeladores paramétricos y diferentes programas ha mejorado y en algunos casos se han incorporado como add-ons o al menos como medios de intercambio de información, por ejemplo en análisis de elementos finitos, análisis de ciclo de vida, gestión de fabricación y análisis cinético entre muchos otros, teniendo en cuenta que al menos en Grasshopper que es un software abierto cada día aparecen nuevas aplicaciones, sin embargo aun presentan dificultades para la colaboración multidisciplinaria en relación a las intenciones de diseño.

Dadas las dificultades que aun se presentan en los modeladores paramétricos y la

apenas incipiente integración de los diseñadores a estos modelos de trabajo, además de la lenta integración de otras disciplinas en torno al desarrollo de productos, son muchos los campos de mejora, justamente para la integración y evaluación multidisciplinar con sus dominios y subdominios como plataforma de trabajo, retomando de cierto modo los principios del diseño y la ingeniería concurrente en donde las intenciones de diseño, los parámetros y el script de cambios escritos por el diseñador pueden ser afectados desde diversas fuentes (ingeniería, marketing, ergonomía, producción, etc.) a partir de análisis o recopilación de información real o virtual. Con lo cual los modeladores debe ser lo más abiertos y flexibles posible para la adopción de un modelo de diseño que integra las diferentes disciplinas y los mundos físicos, virtuales y mentales de los diseñadores.

5.2.3 Métodos para el diseño robusto

Unas restricciones más fuertes hacen indispensable generar nuevas estrategias para resolver las dificultades y al mismo tiempo garantizan el mejor resultado posible dentro de ellas, lo cual ha sido demostrado en el camino seguido por la industria japonesa y luego por la industria mundial, desde estrategias como la gestión visual de Suzaki, la ingeniería de calidad de Taguchi y la Mejora continua (Kansei) de Imai y las diferentes aportaciones y complementos a ellas como el Justo a Tiempo de Ohno y los círculos de calidad de Ishikawa, hasta las más recientes Trilogía de Juran y el círculo de Shewhart, que pasando desde el control de la calidad al aseguramiento de la calidad se ha llegado al concepto de calidad total. El diseño ha sido un componente muy importante en este desarrollo a partir de la introducción del Diseño Robusto dentro del Método de Ingeniería de Calidad de Genichi Taguchi y su propia evolución dentro de otros modelos.

La aportación fundamental del Método de Taguchi más allá de la formulación matemática de los experimentos es la filosofía que lo acompaña, con la cual se adapta a cualquiera que sean las condiciones para asegurar el mejor resultado posible y con ello tener productos robustos, el modelo hace insensible el proceso y el producto a las variaciones externas estableciendo variaciones aceptables y controladas. Las tres ideas sobre las cuales se apoya este método son, primero que la calidad debe ser diseñada en el producto y no inspeccionada en él, segundo, que la calidad se logra mediante la minimización de las desviaciones frente a un objetivo, haciéndolo inmune a los factores externos y tercero, que el costo de la calidad se debe medir como una función de la desviación estándar y las pérdidas frente a todo el sistema.

Los experimentos necesarios para el logro de un diseño robusto se desarrollan en cuatro pasos básicos, inicialmente una lluvia de ideas sobre las características de calidad y sobre los parámetros de diseño más importantes para el proceso y el producto, luego diseñar los experimentos en condiciones reales y llevarlos a cabo, seguidamente analizar los resultados para determinar las condiciones óptimas y finalmente ejecutar una prueba de confirmación reproduciendo las condiciones óptimas determinadas.

El reconocimiento de diferentes factores o variables que determinan la funcionalidad de un producto permitió a Taguchi crear un conjunto especial de matrices ortogonales para el diseño y evaluación de sus experimentos, produciendo coherencia y reproducibilidad a su método, los factores principales usados fueron, los parámetros de diseño que influyen en el rendimiento, las entradas que pueden ser controladas y su inclusión en el estudio para determinar su influencia en el rendimiento deseado.

El método de Taguchi normalmente se aplica en la estrategia de Diseño para la Manufactura (DFM) en el proceso de desarrollo y fabricación desde el concepto inicial, pasando por el diseño, la ingeniería y la fabricación hasta la producción, especificando las dimensiones y los detalles de todas las características del proceso y el producto, midiendo la calidad con una función de pérdida de calidad, que no es más que una función continua definida en los términos de la desviación de un valor ideal de un parámetro de diseño.

Sin embargo el método Taguchi no considera solamente las desviaciones dentro de los límites de la tolerancia como pérdidas, sino que además de monitorear y ajustar las variables dentro del proceso de producción para reducir las imperfecciones, propone reducir la varianza o margen del parámetro con técnicas de control de calidad fuera de línea es decir durante la etapa de diseño, dividiéndola en tres fases, la primera fase o de Diseño de Sistemas en donde se determina la combinación adecuada de materiales, partes, factores y procesos de diseño incorporando nuevas ideas, conceptos y conocimientos, como síntesis del nuevo producto o proceso, la segunda fase o de Diseño de Parámetros es donde el producto o proceso se somete a los eventos de "Ruido" y se evalúa su reacción y se ajustan los parámetros para que sea menos sensible a las variaciones, con lo que se reducen las pérdidas y se hace el producto y el proceso robusto, y la tercera fase o de diseño de tolerancias que solo se desarrolla si en la etapa de parámetros no se logran los valores objetivo, estableciendo los niveles de tolerancia para minimizar los costos de fabricación, proceso y uso del producto.

En todos los casos el ajuste de parámetros y tolerancias puede significar mejores materiales, maquinaria y control de procesos, pero justamente al aplicarse el método Taguchi fuera de línea en el proceso de diseño es posible mejorar la calidad con los recursos disponibles y sin elevar los costos del proceso o el producto.

Son múltiples y diversas las aplicaciones del método Taguchi en el diseño y el desarrollo de productos, muchos de ellos construyendo analogías, otros tomando algunos aspectos de las pruebas y experimentos y otros en el análisis de los resultados, pero el establecimiento de parámetros de ruido y controlables ha sido de los más recurrentes y que se conecta actualmente con mayor profundidad con el diseño paramétrico y algunas estrategias de la ingeniería concurrente. El enfoque robusto o de optimización ha sido desarrollado en diferentes etapas y desde diferentes perspectivas, entre ellas, en la evaluación del ciclo de vida (Dong 1993), en la capacidad de servicio (Gershenson y Ishii 1993), en el costo de producción (Dong 1993), en el reciclado y la disposición final (Zhang et al. 1997), en la fabricación (Pham y Ji 1999) y en la facilidad de montaje (Hsu y Lin 2002), algunas otras apoyadas en herramientas informáticas buscan la optimización, como, optimización por algoritmo genético (Xue 1997), reprocesado simulado (Xue 1997), Decisión multi variante (Changchien y Lin 2000), optimización de enjambre de partículas (Zhang y Xue 2001), y la optimización numérica (Chang y Bryant 2004), otras apoyadas en la combinación de parámetros de diseño y algoritmos para optimizar las tolerancias (Xue et al., 1996) y las dimensiones (Xue y Dong 1998), y a nivel general de proyecto, herramientas de medidas cuantitativas para evaluar los cambios en el proyecto (Ibbs 1997), gestión de proyectos (Karim y Adeli 1999) y un sistema de gestión de cambios con base a las evaluaciones cuantitativas (Ibbs et al., 2003), entre muchos otros.

Para Xue et al. una adaptación del método Taguchi es más relevante cuando considera los posibles cambios en la implementación de la producción, es decir una vez iniciada la fabricación pueden surgir cambios que afectan el diseño y estos pocas veces han sido considerados por ello propone un enfoque sistemático para el diseño de parámetros que tenga en cuenta el impacto de los cambios en diseño apoyado en el método de Taguchi para minimizar los cambios de tal modo que se asuman los parámetros con potencial de cambio como parámetros de ruido, asociados con probabilidades que hacen más eficaz la identificación de parámetros de diseño (controlados) y con la estimación de costos de los posibles cambios en el proceso de implementación que pueden incluir hasta la distribución.

Una metodología de trabajo que se ha desarrollado para mejorar la robustez y fiabilidad del proceso de diseño y sus productos es la Estructura Matriz de Diseño (DSM

Design Structure Matrix) que originalmente Steward (1981) desarrollo en los años 60 para resolver sistemas matemáticos de ecuaciones y que luego Eppinger y Tyson (2011) han aplicado para el diseño, desarrollo y gestión de sistemas complejos en donde se representan los elementos del sistema y sus interacciones en un esquema gráfico para aprovechar la arquitectura del sistema. La Universidad Técnica de Múnich ofrece una plataforma para el aprendizaje y uso de DSM (<http://www.dsmweb.org>) con diferentes herramientas como DSM (Estructura Matriz de Diseño), DMM (Matriz cartográfica de dominios) y MDM (Matriz múltiple de dominios) que van desde una matriz básica para relacionar las entidades de una clase con las de otra, hasta las que permiten relacionar desde diversas visiones de un sistema las funciones de la arquitectura de componentes, o la combinación de las anteriores con la que se representa un sistema completo para ser gestionado.

A partir del trabajo sobre DSM, múltiples estrategias se han desarrollado apoyadas en su sencillez y la fácil representación grafica de las relaciones, entre ellas el modelo elaborado por Yassine (2007) para modelar y simular el rendimiento de los procesos de desarrollo de productos que permite la estimación practica de la probabilidad de re-trabajo como un parámetro de entrada y al mismo tiempo evaluar planes de mejora en medidas de fiabilidad y robustez.

En la representación grafica de flujos y tareas en DSM es visible cómo unas tareas afectan a otras e identificar los posibles conflictos y sus posibles soluciones, pero *“no incluyen la duración de las tareas, el impacto de la iteración o repetición del trabajo, y por lo tanto no proporcionan una línea de tiempo o estimación de la duración del proyecto”* (Yassine A. A., 2007, p. 546), con lo cual ha sido necesario recurrir a técnicas de simulación para darle integridad a la metodología y poder integrar las líneas de tiempo incluyendo la iteración cualquiera sea su causa (re-trabajo, adaptación, personalización, técnicas, etc.).

Wiest y Levy (1997) introdujeron la técnica de Revisión de Evaluación General que tenia en cuenta las relaciones de retroalimentación e iteración en los procesos, Adler et al. (1995) usaron la Simulación de Eventos Discretos para identificar las actividades cuello de botella y otras características del proceso y así evaluar el rendimiento del desarrollo de productos, y Browning y Eppinger (2002) combinando sobre la base de DSM la simulación, lograron identificar diferentes indicadores de desempeño. Actualmente se siguen desarrollando herramientas sobre DSM en una comunidad de investigadores, profesionales y desarrolladores al servicio de grandes empresas en todo el mundo y de diseñadores independientes que apoyan su trabajo en este modelo.

El paso siguiente en el uso de la metodología Taguchi para el desarrollo de

productos robustos en procesos de diseño y producción robustos es abordar el concepto de Plataforma de productos o Familias de productos integrando las condiciones de calidad y control optimo. Las diferencias de los clientes y sus deseos, las variaciones de uso durante la vida útil de los productos, las regulaciones de comercio y ambientales, la competencia y los cambios en la tecnología, constituyen las variantes del mercado que imponen a las empresas desarrollar variedades de sus productos para mantener la competitividad y utilizar estrategias que permitan renovar oportunamente su oferta, como la normalización, las plataformas de productos, los productos modulares o la personalización masiva.

Para mantener la solides de la oferta de productos, el control de los procesos y poder responder y reaccionar a los cambios del mercado sin el desgaste permanente de un ciclo completo de desarrollo de producto, se han combinado estrategias y metodologías que permiten mantener el diseño robusto, con márgenes óptimos de calidad y la variedad necesaria para satisfacer la demanda, entre ellas una modificación al método Taguchi planteada por Jiang y Allada (2005) en donde tanto las entradas, señales del mercado y señales Ruido (incontrolables) como factores de control, ingresan al sistema de plataforma de productos y producen ciertas características de calidad, que entran en un sistema de controladores y se convierten nuevamente en factores de control. Este modelo de retroalimentación puede utilizar las Características de Calidad para actualizar una plataforma de producto o para alimentar el sistema de control de una nueva.

Diferentes investigaciones y aplicaciones se han desarrollado relacionando el diseño robusto y la plataforma de productos como:

Phillip J. Ross	1988	En técnicas de ingeniería de calidad presenta paso a paso el diseño de los experimentos y los parámetros / tolerancias de diseño para reducir variaciones
Dehnad Khosrow	1989	Control de calidad, diseño robusto y método Taguchi
Roy Rothwell y Paul Gardiner	1990	Presentan la tendencia del diseño robusto a convertirse en familias de productos.
Rebecca Herderson y Kim Clark	1990	Presentan cómo las plataformas de productos mejoran la capacidad de las empresas para ofrecer mayor número de productos con menor coste.
Susan Sanderson y Mustafa Uzumeri	1995	Analizan el efecto de las familias de productos para suministrar variantes de producto.
David Robertson y Karl Ulrich	1998	Abordan el desarrollo de plataformas de producto durante la fase de proyecto, teniendo en cuenta el mercado, el diseño y la fabricación
J.S. Yu y Kevin Otto	1998	Definen la arquitectura familia de productos sobre la base de las necesidades del cliente mediante la representación de los valores objetivo para las características del producto como distribuciones de probabilidad

Roberto Ortega, Uma-Shankar Kaylan-Sesshu	1999	Utilizaron una función múltiple objetivo del ciclo de vida para evaluar una familia de productos con un caso de estudio.
Erik Zamirowski y Kevi Otto	1999	Propusieron un método para identificar la cartera de productos de arquitectura candidatos sobre la base del análisis de las necesidades del cliente y funciones.
Mark Martin y Kosuke Ishii	2000	Desarrollaron dos índices para medir robustez de la arquitectura del producto: el Índice Variedad generacional y el Índice de acoplamiento
Timothy Simpson, Wei Chen, Janet Allen, Farrokh Mistree	2000	Describieron un método de exploración concepto robusto para facilitar el diseño de familias de productos y producir especificaciones de diseño en una etapa temprana de diseño.
Jeffrey Dahmus, Javier Gonzalez, Kevin Otto	2000	Propusieron un enfoque para satisfacer las variantes de los requisitos de función a través de una plataforma común que consiste en diferentes instancias del módulo.
Achille Messac, Michael Martinez, Timothy Simpson	2000	Ampliaron el método de exploración del concepto plataforma de productos para el diseño de plataformas de productos comunes.
Vish Krishnan y Karl Ulrich	2001	Midieron el rendimiento de las familias de productos que utilizan un modelo de red.

Cuadro 9 Métodos, modelos y metodologías de diseño robusto para familias de productos que toman base y /o modifican el método Taguchi.

Jiang y Allada (2005)

5.2.4 Métodos para plataforma de productos

El diseño y desarrollo de nuevos productos es un emprendimiento complejo que requiere de gran cantidad de recursos humanos, tecnológicos y financieros apoyados en una base de conocimientos sobre la demanda presente y futura del muy dinámico y cambiante entorno social, con lo cual la respuesta a las demandas o a la competencia puede tardar más de lo deseado, ser demasiado costoso para ser competitivo o no cumplir con las expectativas como nuevo producto. Muchas empresas y grandes corporaciones industriales durante décadas decidieron anticipar el proceso de desarrollo de productos y algunas lo siguen haciendo, con años de anticipación, apropiando o desarrollando los avances tecnológicos que permitieran ser competitivos y presentar verdaderos avances en sus productos, logrando un relativo éxito y generando una competencia que termina en beneficio de los usuarios aunque deban pagar los elevados costos de investigación y desarrollo para cada nuevo producto.

La idea de *nuevo producto* puede ser comercialmente atractiva y económicamente rentable pero de alguna manera esta atada al menos a dos condiciones previas, de una parte al conocimiento previo de la tecnología que usa el producto y la que permite su

producción y de otra parte a la capacidad propia de la empresa para gestionar su infraestructura para adaptar los procesos que implican los nuevos productos. Estas condiciones y la creciente presión de la demanda y la competencia han hecho fracasar muchas empresas o evolucionar en el mejor de los casos a otras a modelos de desarrollo de nuevos productos apoyados en la flexibilidad y modularidad de sus productos y sus plantas de producción.

Procurando invertir los esfuerzos de manera más eficaz y conociendo que el éxito a largo plazo de una empresa no puede depender de un solo producto y su renovación periódica, sino de un flujo constante de productos que añaden valor dirigidos a mercados en crecimiento, muchas empresas han identificado lo que tienen en común, la normalización, la modularidad y la compatibilidad de sus productos para constituir las familias de productos asumiendo una arquitectura de producto que describe de manera abstracta las partes (productos), sus relaciones y las posibles combinaciones, que hacen posible organizar su representación en un dominio de componentes y subsistemas (Físico) y un dominio de las funciones (Funcional - Técnico) (Höltä, 2003)

En otros términos se genera lo denominado plataforma de productos, la estrategia recomendada por Meyer y Lehnerd (1997) que sugiere enfocar las energías de una empresa en el desarrollo de familias de productos que comparten componentes, tecnologías y procesos, que permiten el desarrollo innovador, rápido, con menos esfuerzo y más barato de nuevos productos, argumentando que una empresa será robusta en la medida que su productos sean funcionalmente robustos, de un precio razonable, elegantes en su diseño y su uso un placer, junto con la capacidad de transitar fácilmente de una generación tecnológica a otra. Definiendo la plataforma de productos como *“un conjunto de subsistemas e interfaces desarrollado para formar una estructura común a partir del cual una corriente de productos derivados puede ser desarrollado y producido de manera eficiente”* (Meyer & Lehnerd, 1997, p. 39)

El desarrollo de Plataformas de Productos ha sido abordado desde diferentes perspectivas, entre ellas la evolución de productos flexibles, la teoría de sistemas jerárquicos, la teoría constructal o el método de optimización por algoritmos genéticos para familias de productos, todos ellos con el propósito de hacer más eficiente el trabajo de diseño, aprovechar el conocimiento previo de los productos propios, usar la arquitectura de los productos de la familia, incorporar rápidamente desarrollos tecnológicos y ampliar el control de parámetros en la morfogeneración de los productos.

Allen et al. (2003) presentan para el desarrollo de plataformas de productos un método apoyado en la teoría constructal denominado PPCTM (Product Platform Constructal Theory Method) que considera como estrategia la optimización global con restricciones locales, bajo la lógica de que todos los sistemas se suponen destinados a permanecer en la imperfección, y que por tanto el objetivo fundamental es distribuir tales imperfecciones de manera optima generando la geometría y la forma del sistema y los productos.

El método de plataforma de productos con la teoría constructal articula el diseño de productos adaptables o personalizables como un problema de optimización del acceso en un espacio geométrico bajo la lógica de que la distribución optima de las imperfecciones genera la geometría (forma) del sistema y sus componentes. Este espacio geométrico sería el espacio de personalización que estaría definido por los parámetros y sus variaciones. A partir de un conjunto básico de componentes físicos y funcionales, se logra la variedad y la personalización haciendo un uso sistemático de diversos modos de gestión que organizan y dan rangos de aplicación contribuyendo a la optimización de los objetivos.

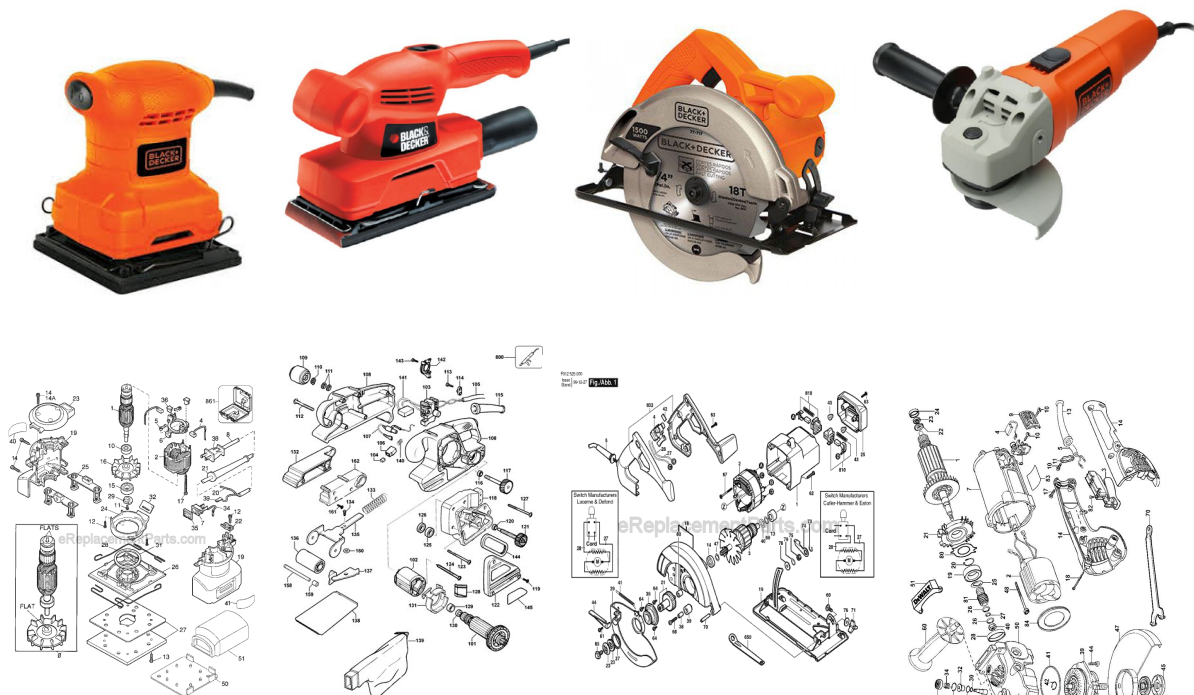


Figura 53 Plataforma de productos B&D. Familia de productos de bricolaje. Piezas y componentes

En las plataformas y familias de productos se identifican las piezas, partes y componentes que comparten y se desarrollan múltiples productos.

<http://www.blackanddecker.es/es-es/products/power-tools>

La relación de las familias de productos, la plataforma de productos y los algoritmos genéticos se da a través del control de los requisitos y las variables que permiten generar las variaciones y la personalización dentro de las generaciones de productos, ejerciendo control sobre los parámetros asignados a los módulos o componentes de la plataforma y al mismo tiempo a aquellas variables que surgen desde los nichos de mercado de tal modo que se pueden adicionar, eliminar, sustituir o adaptar módulos. De acuerdo al Método de exploración para el concepto de plataforma de productos (PPCEM) propuesto por Simpson et al. (2001) considerado como un enfoque de familia de productos escalables, orientado al facilitar la exploración y síntesis de plataformas de productos robustos, se deben dar cinco pasos esenciales en su aplicación, primero la determinación de los requisitos del segmento de mercado, segundo la determinación de los requisitos globales de diseño y su segmentación para tener valores correspondientes, creando con las variables la plataforma común, tercero se pueden construir metamodelos en el caso de hacer simulaciones y quinto se desarrollan todas las variantes de productos personalizados.

Sin embargo este modelo PPCEM ha sido perfeccionado por Nayak et al. (2002) permitiendo determinar de manera optima las variables comunes y escalables que constituyen la plataforma para la familia de productos, con un modelo denominado VBPDMD Método de diseño de plataforma basado en la variación. Anteriormente Nelson et al. (2001) propusieron la aplicación del PPCEM en dos etapas con un enfoque multi-objetivo para la plataforma de diseño y las variantes de productos, en donde la primera etapa optimiza cada variante de acuerdo a los requisitos de cada cliente y en la segunda etapa desde la optimización de múltiples objetivos se encuentran las variaciones optimas que responden a restricciones individuales sin perder la homogeneidad de la familia, más adelante Simpson y D'souza (2004) desarrollan un método en el que no es necesario especificar las variables comunes y únicas a priori, sino que estas se exploran en común durante la optimización apoyados en los algoritmos genéticos, del mismo modo que Thévenot et al. (2005) apoyan el rediseño de familias de productos con algoritmos genéticos que evalúan la homogeneidad, el grado en común y la concordancia en la línea de productos.

El diseño flexible como base de las plataformas de productos también ha merecido el desarrollo de diferentes estrategias y modelos de trabajo, que se conectan y algunas veces quedan incorporados en estrategias más amplias, sin embargo vale la pena destacar el Modelo de Selección de Conceptos (CSM) y la toma de decisiones planteado por King y Sivalogathan (1999) que tiene como principio un diseño flexible capaz de tener varios productos terminados a partir de un diseño base común, sin perder el registro de los efectos de una decisión de concepto en cualquier etapa o producto. Teniendo en cuenta que en el

proceso de desarrollo se generan conceptos que responden a subsistemas y otros conceptos que evolucionan o se eligen para el núcleo, entendiendo que deben ser compatibles y se pueden utilizar en todos los productos finales.

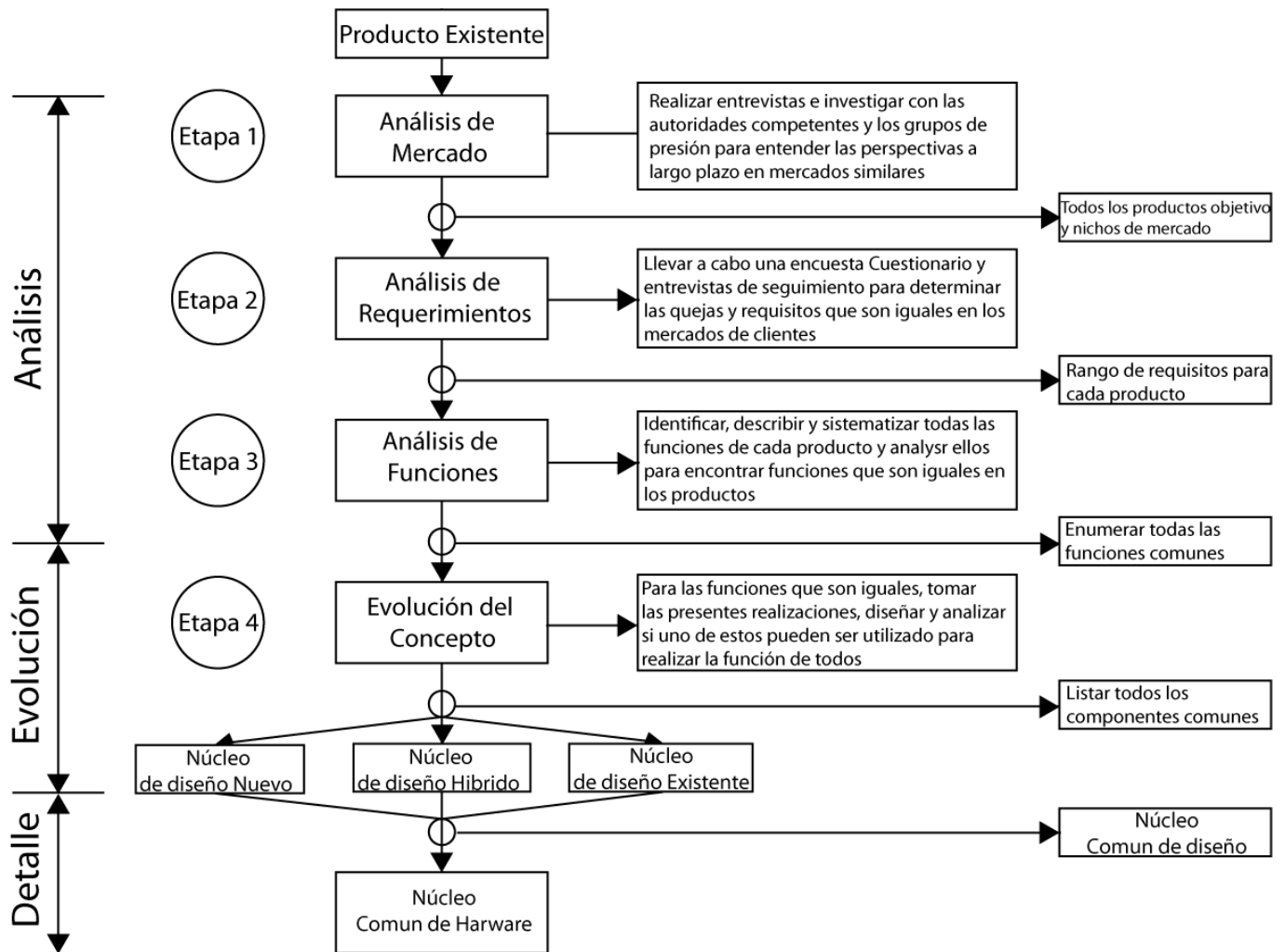


Figura 54 Modelo de diseño flexible

(King & Sivaloganathan, 1999, p. 331) Traducción propia.

El modelo CSM usa una matriz donde se cuantifica la compatibilidad de un concepto frente a todos los demás, permitiendo una decisión objetiva en la selección de cada concepto al conocer el resultado de compatibilidad del conjunto. Esta matriz permite observar aquellos conceptos o relación de conceptos que favorecen el conjunto o aquellos que generan restricciones, trazando rutas de productos alternativos cuyos conceptos generen equilibrio en los resultados.

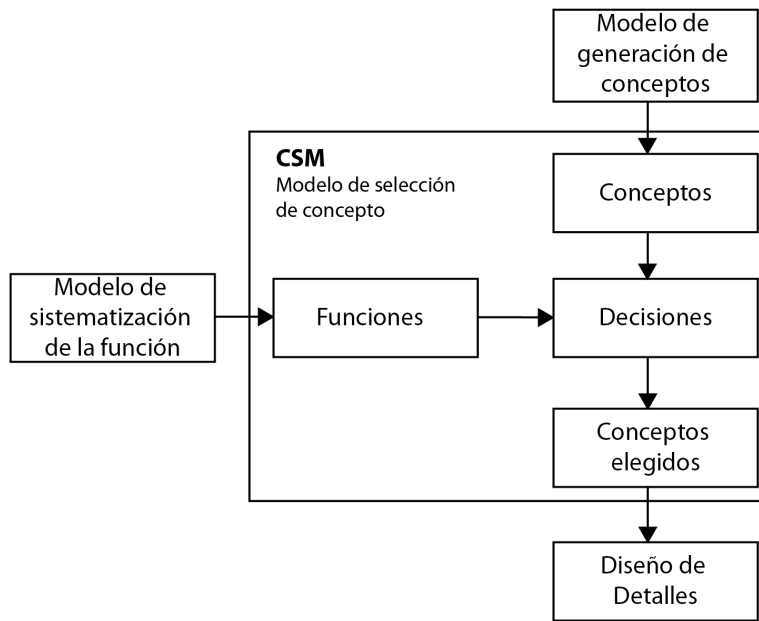


Figura 55 El contexto de la CSM (Metodología de Selección de Concepto) en Diseño Flexible

(King & Sivaloganathan, 1999, p. 341) Traducción propia.

Rastrear los efectos de una decisión de concepto cuando existen diferentes productos finales es muy importante ya que también permite identificar ese efecto en los componentes de cualquier producto resultante en la etapa de evolución de concepto y así determinar si puede ser parte del núcleo de concepto de diseño

5.2.5 Otros métodos

El método para combinar la optimización estructural y la creatividad del diseñador desarrollado por Kobayashi et al. (2009) para la determinación de la forma, si bien esta orientado al desarrollo de mecanismos, es una muestra de las posibilidades de integración del diseño paramétrico y la determinación de la forma bajo programación o morfo generación, y es el resultado de la revisión de la combinación de dos métodos de optimización, como ejemplo, el primero con el que se transforma un mecanismo de elementos y articulaciones rígidos a un mecanismo de articulaciones flexibles, y el segundo de optimización topológica en donde el diseñador determina la configuración, la ubicación y dirección de las fuerzas de entrada y salida del mecanismo para optimizar la topología y la forma bajo tales condiciones. Aun que Sigmund (1997) y Larsen et al. (1997) ya han usado la optimización topológica, esta combinación no hace necesarios conocimientos cinemáticos para lograr la optimización del conjunto, sin embargo si presenta dificultades para la

consideración de deformaciones, el análisis no lineal, el detallado de la forma o el uso de medidas físicas como el estrés y el desplazamiento.

Es por ello que Kobayashi et al. (2009) proponen la combinación de dos métodos, la optimización de la topología y la optimización de la forma, que por separado aun presentan dificultades como la imposibilidad de generar mecanismos complementarios o lograr la optimización de las formas en conjunto, pero que usados de manera complementaria se retroalimentan y producen resultados con gran detalle y que pueden ser controlados. La optimización de la forma asumida como parte inherente de la topología no puede cambiar la topología pero si puede utilizar diversas dimensiones físicas, como las especificaciones de diseño, los índices de deformación o análisis no lineales, que difícilmente se pueden dar en la optimización topológica, adicionalmente la optimización de la forma puede interpolar las curvas y superficies (spline) que son controladas por sistemas CAD y por sistemas de fabricación digital, por tanto la optimización Topológica / Formal de manera sinérgica resuelve problemas que individualmente no podrían resolver.

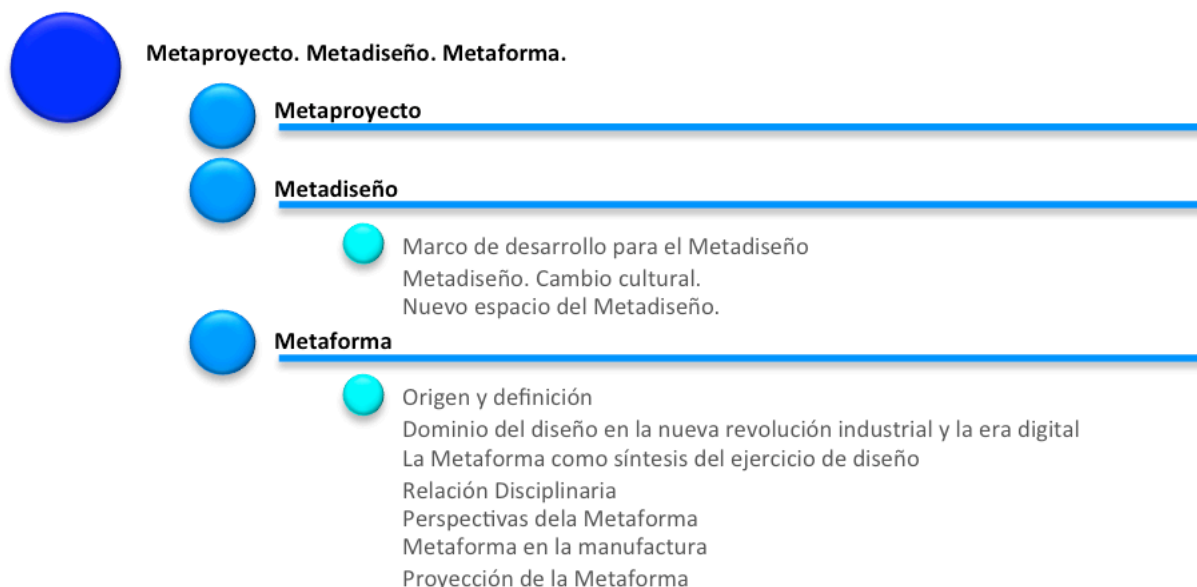
La determinación de la forma hace parte del trabajo de ingenieros y diseñadores y en ella se encuentra la síntesis de su esfuerzo para generar las cualidades perceptibles de soluciones, ya sea a los más simples problemas cotidianos, como a los más complejos sistemas industriales y de fabricación, para ello ha venido desarrollando diversos modelos y metodologías que sirven de apoyo y regulan su trabajo para hacerlo más fiable y eficaz, utilizando herramientas digitales que logran equilibrar la precisión y el control requerido en los procesos de ingeniería con la exploración y experimentación de los procesos de diseño.

La forma en su doble papel se genera desde la ingeniería a partir de los requerimientos técnicos, las propiedades estructurales, los principios físicos, la funcionalidad y los procesos de producción, y desde el diseño a partir de la ergonomía, la facilidad de uso, la estética y la creación de experiencias, con lo cual ha sido necesario desarrollar modelos de trabajo y herramientas que permitan el diseño y la optimización de la forma con soportes informáticos tanto para la conceptualización como para la determinación en detalle.

Entre los modelos que se han desarrollado, generalmente desde la ingeniería de diseño hacia el diseño industrial pero que progresivamente van retroalimentando la ingeniería tal como menciona Horvath, Rusák y Duhovnik (2007), están los orientados a la construcción, reconstrucción y optimización de la forma, aquellos que buscan adaptar las formas a esquemas funcionales o de procesos y los que buscan generar o autogenerar las formas. Entre ellos se pueden mencionar, Cheutet et al. (2007) que buscan a través de la

interpretación de los bocetos apoyar los conceptos de la forma cuando se representan digitalmente a través de una ontología de las curvas basado en la gramática de las formas, Mengoni et al. (2007) quienes proponen capturar la intención de diseño aplicando ingeniería inversa sobre las representaciones como nubes de puntos, líneas de bocetos y anotaciones permitiendo combinar información implícita, explícita y de conocimiento extraído de las representaciones, Ruiz et al. (2007) que proponen la reconstrucción de las superficies de transición teniendo en cuenta las nubes de puntos consideradas “ruido” en el escaneado, Pernot et al. (2007) intentan resolver el problema que aparece cuando no hay suficientes datos geométricos de un objeto físico y las representaciones son incompletas, creando mallas triangulares en una cuadrícula topológica que se ajusta a la forma, Langerak y Vergeest (2007) desarrollan un marco con métodos de reconocimiento para plantillas existentes y detección de líneas características que coinciden en ingeniería con las graficas de funciones y características de fabricación regular, respectivamente, y el estudio de Vajna et al. (2007) sobre la Teoría de Diseño auto genético (ADT) en donde las buenas propiedades de soluciones anteriores se transmiten a las soluciones siguientes, con el uso de metodologías evolutivas.

6 METAPROYECTO. METADISEÑO. METAFORMA.



Llegar a la construcción de un concepto como la Metaforma más que ser una estructura que sienta sus bases en la revisión de postulados teóricos y que progresivamente se compone de teorías e ideas que se entrelazan dando soporte al surgimiento de una idea innovadora, ha sido un descubrimiento sobre los hechos y la práctica consistente de muchos diseñadores e investigadores que a través de su ejercicio han demostrado que, así como ciertas categorías debían en su momento reflejar el desarrollo del diseño y propusieron ideas como el Metaproyecto o el Metadiseño, han permitido que pudiera identificar aquello que más allá de la forma, ese dominio fundamental, se estaba tratando con límites nuevos, con espacios nuevos, con lenguajes nuevos y con interacciones nuevas que debían tener un reflejo conceptual. Así surge la idea de articular dentro de un mismo lenguaje esas prácticas innovadoras y esos alcances ambiciosos, y establecer la denominación de Metaforma.

Este capítulo pretende mostrar de cierto modo marcos generales del ejercicio del diseño y ese ambicioso Mundo como Proyecto que Otl Aicher prefería desde la cotidianidad y la práctica, y que previamente Mendini presentaba como Metaproyecto al intentar dar respuesta al crecimiento de las necesidades en un mundo construido y que luego muchos años después dada la evolución y la creciente complejidad de las relaciones Andries Van Onck en la particularidad del diseño planteara como Metadiseño. Desde aquí y dicho ahora, parece obvio y simple identificar dentro de las relaciones metodológicas, teóricas y prácticas, un dominio sobre la determinación de la forma que viene avanzando sobre los límites del ejercicio del diseño y apoyado en las herramientas digitales, como Metaforma,

pero fue necesaria una gran atención para atreverse a exponerlo al juicio y resistir como se espera que resista, a la aceptación y adopción.

Este capítulo aborda tres conceptos relacionados con los alcances y los dominios del diseño, la primera parte de manera directa trata el *Metaproyecto* como aquella idea basada en la coordinación de la producción industrial de componentes prefabricados para el desarrollo de proyectos y mega estructuras que como un organismo en crecimiento se adapta al medio ambiente y sirve como estructura generativa, lo que Gomez-Senent ahora enmarcaría en la ingeniería de proyecto y otros autores en las líneas de acción.

En la segunda parte se trata el concepto de Metadiseño, que desde su definición, sus modelos y sus herramientas se ha dividido en tres Apartados, primero el *Marco de desarrollo para el Metadiseño*, en donde se destaca la necesidad de ambientes de programación dentro de los procesos digitales para su integración según Fischer y Giaccardi, los modelos de aplicación del Metadiseño apoyados en la participación de los usuarios a través de medios digitales, las diferentes manifestaciones y niveles de integración del Metadiseño y por ultimo el desarrollo de “semillas” a partir del dominio como lo expone Fischer y Ostwald.

El segundo apartado trata sobre los cambios tanto culturales como de paradigma para el Metadiseño según los planteamientos de Maturana y del transito del diseño sostenible a la Eco mimética propuesta por Fairclough. El tercer apartado, *Nuevo espacio del Metadiseño*, describe los nuevos modos colectivos de construir y sus principios, la tendencia a lo inmaterial y la virtualidad en muchos aspectos de la vida diaria y los nuevos espacios que el diseño debe abordar, y cómo lo argumenta Giaccardi el paso de un diseño planificador a un diseño de siembra.

La tercera parte de este capítulo se ocupa del desarrollo de la propuesta del concepto de Metaforma, que se divide en cinco Apartados, primero el *Origen y definición* que presenta las razones de su origen y surgimiento, su definición, el rol del diseñador y el desarrollo de conocimientos propios a partir del nuevo concepto. Segundo el *Dominio del diseño en la nueva revolución industrial y la era digital* que presenta una estructura del diseño para la Metaforma y sus cualidades a través de los dominios. Tercero, *La Metaforma como síntesis del ejercicio del diseño* que trata sobre la evolución del diseño dentro de la era digital, la síntesis del ejercicio del diseño y las estructuras “Meta”. Cuarto, *La relación disciplinaria* que presenta la Metaforma como un concepto integrador, como un dominio de enlace y como un dominio de conocimiento integrador que concatena el diseño sobre si mismo.

El quinto apartado, *Perspectivas de la Metaforma* se divide en *Metodológicas*, que presenta un marco de acción a diferentes niveles que permiten abordar la complejidad y se integra a diversas metodologías, *Técnicas* que establece la relación entre las herramientas tecnológicas en el desarrollo de todas las etapas del diseño de productos, *Productivas* que presenta el desarrollo y transformación de los procesos de producción y su inserción en los medios digitales además de la adaptación de todos los procesos a través de la Metaforma, e *Investigativas* en donde a partir de un nuevo dominio como la Metaforma se generan nuevas relaciones, nuevos protocolos y por tanto nuevas posibilidades investigativas, además de todas aquellas que permitan su validación y evolución.

La exposición de un nuevo concepto como la Metaforma es realmente una apuesta desde una visión particular de una realidad percibida, es decir la Metaforma existe como practica y se viene dando en la misma medida que los fenómenos que la rodean y describen han aparecido en el ejercicio del diseño, especialmente con el desarrollo de las herramientas y entornos digitales, pero particularmente con la confluencia dentro de ésta era digital del lenguaje digital paramétrico.

Cuando las especificaciones de diseño se conectaron con las tolerancias geométricas, cuando los puntos de control se conectaron con las intensiones de diseño, cuando los resultados del análisis de elementos finitos se conectaron con las líneas guías de diseño, cuando las tolerancias estructurales se conectaron con la continuidad de las superficies, cuando las alternativas conectaron con los parámetros y cuando en realidad se tomo conciencia de que las matemáticas son formas se estaba construyendo la Metaforma.

6.1 METAPROYECTO

Inmersos en un mundo “Meta” de ordenes superiores en las que se pretende tener una visión amplia y transversal con participación abierta de todos los actores interesados en una temática particular, encontramos la metafísica que se ocupa de aquello que esta más allá de la física, la metáfora que esta más allá de la verdad, la meta evolución que estudia la evolución del mecanismo evolutivo, los meta sistemas que moldean y analizan otros sistemas, los meta objetos que crean, describen e implementan otros objetos, los metadatos que proporcionan información sobre los datos, el metalenguaje que permite discutir sobre el lenguaje mismo, y otros tantos “Metas” que siguen surgiendo en todas las áreas; en este universo, el metaproyecto es aquella plataforma transversal que permite generar proyectos

apoyados en una verdadera comprensión del presente y que crea la complejidad proyectual en la que la teoría y la práctica se mueven conjuntamente.

En el ensayo de Alessandro Mendini, *Metaprogetto si e no (il problema della costruzione metadesign)* publicado en la revista Casabella número 333 de febrero de 1969, se cuestiona la propuesta de un Metaproyecto como respuesta al crecimiento de la población según informe de la FAO para la época, que invitaba a pensar en modos de producción a escala industrial de la vivienda, argumentando que así se podría fabricar a través de componentes e ir uniendo progresivamente nuevos componentes en un sistema abierto de formas libres.

Tal vez sea la primera referencia de la idea de Metaproyecto, con la intención de desarrollar no un solo edificio singular para ser construido y replicado, sino una especie de organismo en crecimiento que evoluciona armónicamente con el medio ambiente de tal modo que la estructura generativa podría permitir de manera indirecta germinar soluciones morfológicas diversas sin perder unidad. Sin embargo la ambivalencia entre el desarrollo tecnológico y la industria de la construcción frente a un modelo tecnológico y burocrático, generaba y aun genera cuestiones sociales, estéticas, filosóficas y políticas alrededor de la conveniencia del metaproyecto.

La idea de metaproyecto era una idea basada en la coordinación de la producción industrial de componentes prefabricados para el desarrollo de proyectos y mega estructuras sugerida por Nizzoli Associati architetti (A. Mendini, Mario Oliveri y otros) y que fue presentada en varios artículos de la revista de arquitectura Casabella, en la competencia CECA³¹ de 1965 y finalmente en el libro de Oliveri Prefabbricazione o metaprogetto edilizio (La prefabricación o meta-proyecto de construcción) en 1968, con la que se pretendía más allá de presentar una solución concreta a la construcción proponer un cambio en la política de la construcción, lo que Mendini resumía como “*la desmitificación del planificador, porque su función se integra con las de todos los demás participantes en un plan integrado (políticos, industriales, etc.)*” (Imperiale, 2016, p. 73), bajo un esquema organizado para diseñar, asegurando la expresión de cada uno.

En algunos casos el metaproyecto también llamado líneas de acción o líneas estratégicas, son conjuntos de acciones que se agrupan por afinidad orgánica, instrumental o funcional, cuyos objetivos son políticas o normativas y que como método indirecto permite

³¹ Comunidad Europea del Carbón y del Acero

alcanzar mayor eficiencia en la utilización de los recursos. De tal modo que se pasa del asesoramiento sobre políticas al asesoramiento en la elaboración de políticas o del diseño directo a la elaboración de proyectos. Entendiendo el metaproyecto como el proyecto del proyecto o la estructura de pautas para el desarrollo de actuaciones proyectuales o como un proceso creativo previo al proyecto que trabaja los límites del proyecto mismo, lo que lo ordena, rige y caracteriza.

Del griego el prefijo Meta significa “después de” o “más allá de” y en inglés con un significado más profundo, es un concepto abstraído de otro, que lo completa o mejora el original, en los dos casos tiene relevancia para la filosofía del Metaproyecto.

En la ingeniería de proyectos, el meta proyecto es una de las dimensiones dentro del conjunto de actividades intelectuales relacionadas que permiten el desarrollo de los proyectos y que según Gómez-Senent deben estar presentes de manera continua en todo tipo de proyectos. Para Gómez-Senent (1998 / 2002) las dimensiones de un proyecto son: Proceso, Fases, Meta proyecto, Factores, Técnica e Instrumental, en donde el Metaproyecto se ocupa de la organización y comunicación del proyecto y hace referencia a aquellas actividades tendientes a correlacionar todos los sistemas que influyen en la resolución del proyecto como son la programación, control, ejecución, planificación y coordinación tanto de los integrantes de los equipos de trabajo como de las tareas que desempeñan, dando importancia justamente a las relaciones de los sistemas organizativos, de conocimientos y físicos; señalando también que dos de estas dimensiones son intrínsecas al proyecto de diseño como son el Proceso y las Fases, y las cuatro restantes son extrínsecas.

DIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN
Proceso	Conjunto de actividades que se realizan para resolver un problema
Fases	Actividades que consisten en dividir, ordenar y reagrupar el proyecto
Metaproyecto	Conjunto de actividades referidas a la correlación de los sistemas que intervienen en la resolución del proyecto
Factores	Obtención del conocimiento necesario sobre los aspectos que influyen en el proyecto
Técnicas	Conjunto de actividades que se realizan dentro del Proceso para resolver determinados problemas del mismo
Instrumentos	Actividades de selección y empleo de los útiles, equipos y materiales para la resolución del proyecto

Cuadro 10 Definición de la seis dimensiones según Gómez – Senent.

(Mulet, Gómez-Senent, & Vidal, 2001, p. 2)

Aguilar et al (2006) hacen una comparación de diferentes estructuras metodológicas donde denotan que la dimensión metaproyecto es considerada directamente por Christopher

Jones y Stuart Pugh e indirectamente por otros al referir la gestión y la organización para interdisciplinariedad y que la dimensión instrumentos solo es considerada dentro del proyecto por Suh y Pugh(1990 / 1991). En esta comparativa frente a la propuesta de Gómez-Senent el modelo de Pugh reconoce en el proyecto la interacción sistémica multidisciplinar denominándolo Diseño Total en donde los instrumentos tienen relación directa con las dimensiones centrales del ejercicio usando CAMA, CASP, CACD, CADD y CASE³² y con el modelo de Jones el reconocimiento de sub problemas para la optimización del tiempo y evitar acciones repetitivas, coincidiendo en que las relaciones del equipo proyectual implican una adecuada coordinación y comunicación y se ven enormemente afectados por los sistemas alrededor del proyecto.

	Dimensión Proceso	Dimensión Fases	Dimensión Metaproyecto	Dimensión Factores	Dimensión Técnicas	Dimensión Instrumentos
Modelo Asimow	Modelo dimensional Capacidad Intelectual	Organización por fases y subfases interrelacionadas Morfología detallada	N.A	Principio ético en la relación proyecto entorno	Herramientas de control de la información	N.A
Modelo Jones	Actividades intelectuales Subdivisión del problema	Organización por fases Divergencia y Convergencia	Reconocimiento de la comunicación entre actores	Reconocimiento de la influencia del entorno	Conocimiento estructurado Extensión de la memoria	N.A
Modelo Palh y Beitz	Proceso de resolución de problemas Actividades intelectuales	Organización por fases y subfases interrelacionadas Similitud fases previas, conceptuales y de detalle	N.A	Valoración del entorno pero no durante todo el proyecto	Herramientas sistemáticas enfocadas	N.A
Modelo Suh	Proceso de resolución de problemas Proceso evolutivo e iterativo	Organización por fases Similitud fases previas, conceptuales y de detalle	N.A	Reconocimiento de la influencia del entorno	Herramientas matemáticas Teoría de control del diseño	Uso de ordenadores con software de alto nivel
Modelo Pugh	N.A	Organización por fases Fases como actividades centrales	Rol multidisciplinar Circulación constante de información	El Mercado como factor de influencia	Selección pertinente de las técnicas	Uso de sistemas computarizados de apoyo a las fase
Modelo Cross	División del problema en subproblemas Característica evolutiva	Organización por fases y subfases Organización del problema a la solución	N.A	Reconocimiento del mercado y aspectos asociados a las soluciones	Herramientas de conocimiento Asociación de las fases	N.A

Cuadro 11 Comparación Modelo Autores Vs Dimensiones Extrínsecas de Gómez-Senent.

(Aguilar Zambrano, Prada Molina, Gómez-Senent, & González Cruz, 2006, p. 5)

³² CAMA - Computer aids market analysis, CASP - Computer aids specification product, CACD - Computer aids conceptual design, CADD - Computer aids detail design, y CASE - Computer aids to selling

El metaproyecto se entiende como el diseño estratégico de lo que conforma el entorno del producto. Tal como en el lenguaje cuando se intenta analizar la comunicación entre dos personas se generan instrumentos conceptuales como categorías y modelos que Roland Barthes denomina Meta Lenguaje o cuando los matemáticos analizan la estructura de un teorema o los fundamentos de la matemática en un lenguaje no propio de las matemáticas se denomina metamatemáticas. Del mismo modo como los signos matemáticos son vehículo de significados, los objetos con sus capacidades funcionales, en su lenguaje transmiten significados y sensaciones que permiten reconocer el transcurso desde que son materia prima hasta que son representaciones simbólicas y funcionales.

En el estudio de la arquitectura y la ingeniería tradicional la fase metaproyectual suele denominarse “estudio preliminar” en cuanto a los datos, el análisis y el “objetivo” en relación a la síntesis; en diseño industrial el metaproyecto es un procedimiento necesario para estructurar las fases de planificación y ejecución, mediada por la definición del proyecto y la construcción de un concepto adecuado, ordenada en dos etapas distintas, una etapa analítica que se ocupa de identificar el contexto o lo que corresponde a espacios, volúmenes, condiciones ambientales, gustos, costumbres, tradiciones e incluso acontecimientos históricos que podrían afectar el objeto y su percepción, como también los aspectos relacionados con el usuario y el producto real como materiales, colores, y procesos productivos; y una segunda etapa conceptual en donde se aplican todos los elementos de la etapa analítica en la creación de un objeto lo más cercano posible a los objetivos propuestos, teniendo en cuenta las limitaciones productivas y económicas del contexto productivo, dando con ello base a una etapa posterior de ejecución, sea de prototipos o de productos terminados.

Proni (2010) señala a Van Onck como quien introduce el concepto de Metaproyecto a partir del neologismo Metadiseño en 1964, siendo Van Onck alumno de Tomas Maldonado en la escuela de Ulm y convirtiéndose en una pieza clave en la relación entre la semiótica y el diseño, proponiendo el diseño como una forma de comunicación y la teoría del diseño como la semiótica de los diseños. Asumiendo el metaproyecto como un sistema paradigmático en donde se introducen *cambios definidos en los componentes de un sistema o las alternativas de diseño* (Colombo, 2005 , p. 203), lo cual encuentra su mayor aplicación en los objetos industriales que deben ofrecer a los usuarios distintos productos con base a soluciones probadas.

Después de insistir en la búsqueda de marcos teóricos del diseño apoyados en modelos lingüísticos, el metaproyecto resurge como un marco operativo para la gestión de

los proyectos en donde se puede diseñar sin restricciones bajo una guía de procedimiento adaptable a diferentes circunstancias, lo que más recientemente renueva la relación semiótica – diseño, en donde el diseño se aproxima al usuario y a las narrativas que se desprenden del contexto, y la semiótica proyectada al análisis de las prácticas humanas, amplía sus intervenciones en el metaproyecto.

El entorno del producto esta condicionado por relaciones particulares con el sistema productivo, el lugar y el momento, y éste se desarrolla con los medios materiales, humanos y técnicos disponibles, de tal modo que el Meta proyecto recrea estas características en el producto dando cuenta de este escenario ampliado, creando estructuras y herramientas propias que comparte con otras disciplinas.

Gestionar un Meta proyecto consiste en diseñar estratégicamente, abordando un proceso previo de convergencia al diseño del producto y en ese proceso *“se considera la totalidad del sistema del producto, desde su materia prima hasta su distribución y se propone proyectar en función de una estrategia. La estrategia nos permitirá incorporar valor agregado y distinguir el producto frente a la competencia. En un proceso de diseño estratégico todas las variables del sistema son analizadas, enfatizadas o valoradas según una intención común”* (Becerra & Cervini, 2005, p. 22)

Se puede asumir el meta proyecto como un periodo de fertilización en donde se define un método de trabajo coordinadamente entre diseñadores, fabricantes y grupos de investigadores que aportan en la definición del marco de actuación desde sus diversos tipos de conocimiento, ya que cada proyecto tiene sus complejidades y sus modos de gestión. El metaproyecto cambia a medida que se desarrolla, debido a las relaciones que se establecen entre las inferencias, los valores, las referencias culturales y sugerencias que provienen de los distintos aspectos; para Laura Polinoro el metaproyecto *articula una estructura invisible fundamental, que se abre y despliega el potencial del proyecto, pero al mismo tiempo actúa como su guía* (Polinoro, 2013) proporcionando orden a la interacción permanente entre coordinadores, investigadores y diseñadores.

El *proceso metaproyectual no es un esquema formal rígido como lo puede ser la morfogénesis* (Bianchi, Montanari, & Zingale, 2010 , p. 20) que se propone como un proceso de formalización universal o como la sucesión de la interpretación en semiótica, el metaproyecto es un protocolo que se ajusta, se interpreta y ayuda a realizar las tareas propias del proyecto, no pretende representar o dar explicación de los fenómenos creativos, pero sirve de guía eficaz haciendo más fáciles las actividades de proyección y diseño. Para

Ramage (2001) el metaproyecto puede ser, *dependiendo de quien pregunte... un gran plan para hacer todo lo que hacemos en Sistemas para encajar en una sola narrativa coherente, de modo que existe la posibilidad de reutilizar materiales donde hay un solapamiento significativo en las ideas.* (Ramage, 2001, p. 669)

El metaproyecto en definitiva aporta una visión amplia y transversal del campo de acción del diseño, permitiendo establecer líneas de acción y sirviendo como plataforma para generar proyectos dentro de una verdadera comprensión del presente. El metaproyecto da base a la complejidad proyectual en la que la teoría y la practica se mueven conjuntamente, dando un margen seguro de acción al diseño o Metadiseño.

6.2 METADISEÑO

La idea de Meta diseño desde su concepción hasta su implementación, ha pasado por visiones, modelos y estrategias que la ubican en ámbitos tan diversos como la economía, la biología y el lenguaje, sin embargo aun cuando se reconoce su valor como marco conceptual y existen iniciativas en su aplicación, estas son muy dispersas. De algún modo se han incorporado sus principios en los modelos de trabajo tradicionales y se han entremezclado con otros existentes de tal forma que es difícil reconocer su aplicación.

Desde la Teoría de la Complejidad y su relación con los sistemas de información Andries Van Onck presento el meta diseño como una perspectiva del diseño industrial que desde el Politécnico de Milán se ha difundido a muchas otras universidades en el mundo, pero al mismo tiempo otros enfoques como el biológico de Maturana y Varela, el tecno-político de Virilio, el tecno-social de Giacardi e incluso de ecología profunda de Capra han tomado espacios en la enseñanza del diseño asociados a la idea de meta diseño.

Las ideas más difundidas del meta diseño refieren a la auto-transformación, la construcción de los entornos más que los contenidos y la capacidad evolutiva de la disciplinas para abordar de maneras nuevas los problemas, lo cual exige una re organización de las disciplinas mismas; en cuanto al diseño, se refiere al “diseño del diseño” incluso yendo más allá del diseño de sistemas e incorporar a los usuarios dentro del proceso creativo como lo hacen modelos de diseño participativo o diseño centrado en el usuario.

De otra parte este *diseño del diseño* o la transformación evolutiva de la disciplinas, tiene que ver directamente con el trabajo inter disciplinar y trans disciplinar para aprovechar

el trabajo en equipo que el meta diseño hace indispensable, por tanto al mismo tiempo se deben desarrollar capacidades comunicativas y cambios de conducta para responder a esa necesidad de innovación que hace posible la evolución y el cambio. Esto introduce complejidad al modelo de meta diseño en la medida que se generan nuevos conocimientos soportados por diferentes colaboradores de un equipo cuyo lenguaje metafórico no es coincidente y trastoca los roles reduciendo la certeza.

Caio Adorno Vassão en *Metadesign: ferramentas, estratégias e ética para a complexidade* (Vassão, 2010) expone cuatro herramientas conceptuales que comprenden el meta diseño, primero los niveles de abstracción o la capacidad de comprender la estructura y los límites de las abstracciones, el lenguaje y el pensamiento instrumental; segundo los diagramas y la topología o el uso del pensamiento y el diseño esquemático, sostenida por la comprensión topológica; tercero el diseño de Procedimientos o la creación de realidades a través de la utilización de procedimientos, como en el juego y el juego de roles, así como en el diseño de procedimientos y cuarto, la ausencia de un control absoluto, y la capacidad de tomar ventaja de los resultados imprevistos.

Con respecto al Meta diseño Youngblood (2010) sostiene que es la única estrategia relevante en el arte, ya que es una estrategia extra estética y supra cultural, teniendo en cuenta que las teorías y prácticas tradicionales en bellas artes son irrelevantes en la realidad tecno cultural y socio política actual, calificando el postmodernismo de resistencia como un fracaso de la imaginación y por ello se hace necesaria una experiencia nueva fuera de la tradición de las bellas artes en donde se ocupe más de crear el contexto que el contenido y donde la vanguardia se hace nuevamente relevante creando situaciones sociales más que obras de arte.

Frente a la frenética sucesión generacional de productos tecnológicos que se acerca a la obsolescencia inmediata y a la innovación delirante, que Josep Puig (1985) denomina Esquizotecnia, solo se puede oponer el meta diseño que parte de coordenadas distintas apoyadas en la ciencia y la tecnología creando una nueva dimensión del diseño que permite abandonar la incertidumbre que por tantos años lo ha sometido.

En la situación actual de insostenibilidad ecológica y productiva todos somos diseñadores en la medida que desarrollamos tareas tendientes a cambiar situaciones presentes e indeseadas por preferibles, por tanto las estrategias de diseño deben cambiar para hacer del entorno algo futurible. Romper con la lógica de crecimiento reconociendo la insostenibilidad estructural. El Metadiseño es *“Una política que busca el acople estructural*

de micro-utopías diversas que están sincronizadas con los ecosistemas de los que emergen y son creadas por comunidades trabajando de manera horizontal. (Garzón Orjuela, 2014, p. 6)

6.2.1 Marco de desarrollo para el Metadiseño

Los fallos y desajustes en el uso de los sistemas y productos se incorporan al rediseño o el diseño de nuevos sistemas, haciendo que los usuarios se conviertan en co-desarrolladores o co-diseñadores dentro de un sistema adaptativo entre sistemas y usuarios, lo que conlleva al ajuste de las necesidades cambiantes de los usuarios y la evolución propia de la tecnología, dentro de marcos más amplios del diseño.

El Meta-diseño es *un marco conceptual emergente dirigido a definir y crear infraestructuras sociales y técnicas en las que las nuevas formas de diseño colaborativo pueden tener lugar* (Fischer & Giaccardi, 2006, p. 429) y para ello es necesario apoyarse en ambientes de programación especializados que permitan representar los problemas con la posibilidad de incorporar nuevos problemas dentro del proceso y los contextos, y que a su vez puedan ser ampliados; sin embargo sistemas como Lisp, SmallTalk, SimCity4, Squeak o AgentSheets, parecen ser insuficientes ya sea por lo cerrado de su entorno y las pocas posibilidades de ampliación o por ser extremadamente abiertos, con lo cual cualquier usuario puede cambiar aspectos del sistema. Fischer y Giaccardi plantean una estructura de interrelación sobre la cual los ambientes de programación podrían contribuir para apoyar el trabajo en metadiseño.

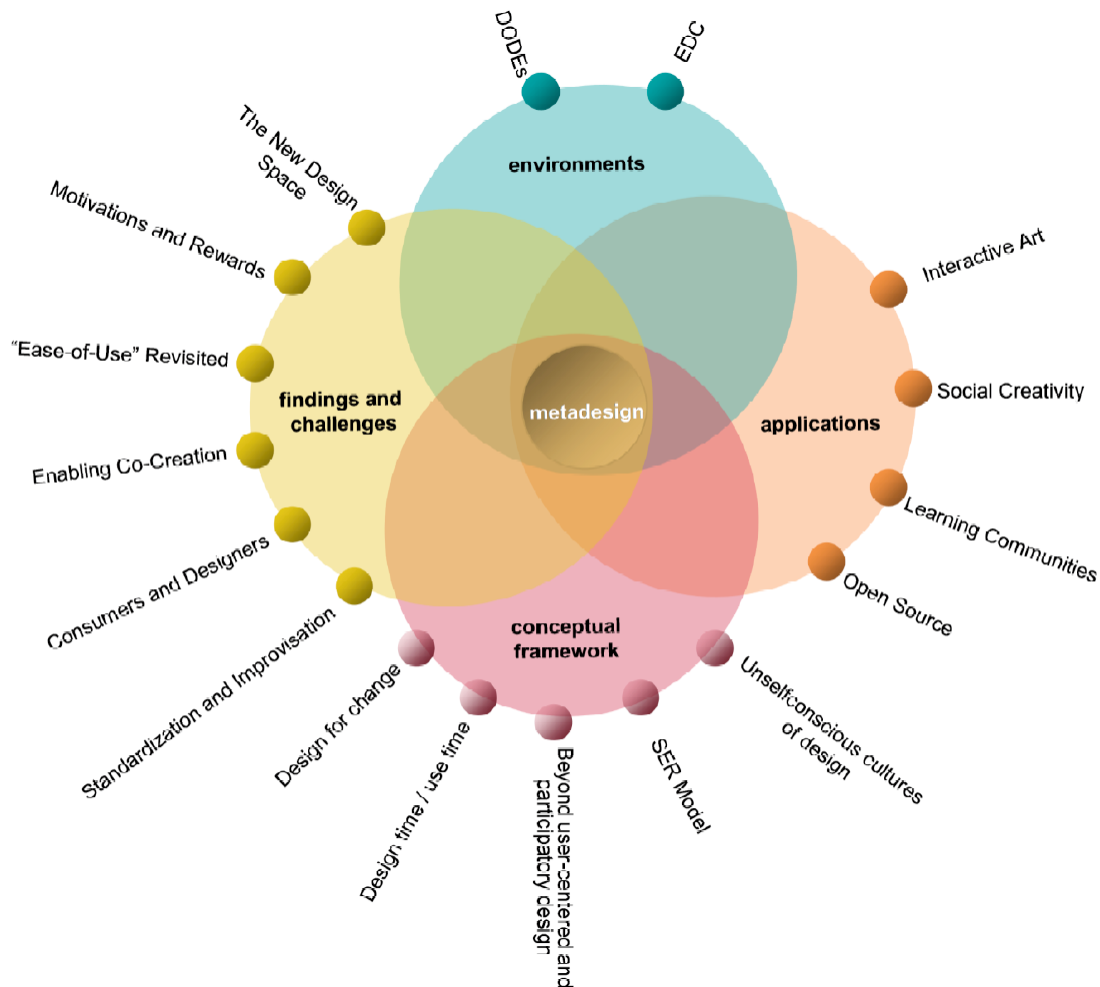


Figura 56 Estructura de inter relación de temas para el meta diseño propuesto por Fischer y Giaccardi.³³

(Fischer & Giaccardi, 2006, p. 428)

De acuerdo a Fischer y Scharff (2000) involucrar a los usuarios en el desarrollo de los sistemas no implica transferir la responsabilidad del diseño, sino el acompañamiento a los expertos con el conocimiento práctico de los usuarios, lo cual resuelve al menos tres problemas del entorno socio técnico del meta diseño, primero, el deber ser flexibles y poder evolucionar ya que no pueden ser diseñados por completo antes de ser usados, segundo, que deben evolucionar en manos de los usuarios y tercero que deben ser diseñados para la evolución, de tal modo que los usuarios operan el sistema y se adaptan a su funcionalidad y el sistema se modifica para adaptarse a las prácticas del usuario.

³³ EDC Environment design collaborative. DODEs. domain-oriented **d**esign environments. SER model. Seeding, evolutionary growth, reseeded

El usuario se ve empoderado al permitir en el meta diseño a participar en el desarrollo de personalizaciones y extensiones complejas en su experiencia de uso, que se adaptan a sus necesidades; de esta manera el diseño del proceso de diseño que considera las condiciones técnicas y sociales se convierte en una actividad fundamental, presentando diferencias significativas con los métodos tradicionales de diseño.

Diseño tradicional	Meta diseño
Directrices y reglas	Excepciones y negociaciones
Representación	Construcción
Contenido	Contexto
Objeto	Proceso
Perspectiva	Inmersión
Certeza	Contingencia
Planificación	Aparición
De arriba hacia abajo	De abajo hacia arriba
Sistema completo	Semilla de sistema
Creación autónoma	Co-creación
Mente autónoma	Mente distribuida
Soluciones específicas	Espacios de Soluciones
Diseño-como-instrumentales	Diseño-como-adaptativa
La rendición de cuentas, el saber qué (toma de decisiones racional)	Modelo afectivo, Saber cómo (interaccionismo encarnado)

Cuadro 12 Diseño tradicional frente a Meta diseño.

(Giaccardi, Principles of metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 433)

En un entorno donde los usuarios cada vez están más en contacto con los objetos informáticos y son más participes en los procesos de desarrollo de los sistemas y objetos, la visión del diseño debe cambiar y por ello el metadiseño propicia una cultura de diseño en donde todos pueden participar en actividades significativas para modelar el entorno y presenta retos tanto para los usuarios como para los diseñadores y los entornos de co creación, en donde se desdibujan los roles mediados por las prácticas y la tecnología.

Las etapas de diseño y uso en los modelos tradicionales de diseño se distinguen y separan por los actores responsables en cada una de ellas, sin embargo los equipos de diseño no necesariamente pueden anticipar el comportamiento de los sistemas y los objetos en las diversas y cambiantes circunstancias en los que interactúan, y los usuarios cuentan con pocas herramientas y facilidades para participar en el desarrollo o transformación de los mismos. En el meta diseño se intentan borrar estas diferencias creando espacios de diseño y asumiendo aun que sin ser una posición binaria (diseñador – Usuario) los dos asumen indistintamente estos roles y pueden enriquecer el proceso, teniendo en cuenta que más allá

del diseño centrado en el usuario se trata de la participación activa de todos en todos los roles con sus propios dominios y especialmente en el uso mismo de los objetos dentro del contexto.

Es claro que esta práctica supone un desarrollo tanto de los diseñadores como de los usuarios avanzados y los consumidores dentro de roles específicos asumidos y que se intercambian en una progresión desde el consumidor pasivo, pasando por el consumidor bien informado, el usuario final, el usuario avanzado y el diseñador hasta el meta diseñador. A diferencia de los entornos de trabajo desarrollados por modelos de diseño participativo y diseño centrado en el usuario dentro de contextos imaginarios de uso, el meta diseño permite sistemas abiertos que evolucionan en el uso y el tiempo y pueden ser modificados por los usuarios dentro de las interacciones complejas que surgen como necesidades, tal como señala Nardi (1993) con respecto a la participación de los usuarios y la experiencia de uso dentro del proceso de diseño

"Hemos solamente arañado la superficie de lo que sería posible si los usuarios finales pueden programar libremente sus propias aplicaciones. . . . Como se ha demostrado una y otra vez, no importa lo mucho que los diseñadores y programadores tratan de anticipar y prever lo que necesitarán los usuarios, el esfuerzo siempre se queda corto, ya que es imposible saber de antemano lo que puede ser necesario. . . . Los usuarios finales deben tener la capacidad de crear personalizaciones, extensiones y aplicaciones..." (Nardi, 1993, p. 3)

El modelo SER³⁴ propuesto por Fischer y Ostwald (2002) se apoya en la idea de que los sistemas evolucionan con la alternancia de periodos de actividad, evolución, estructuración y mejora, con lo que anima a los diseñadores a concebir su actividad como meta diseño, involucrando a los usuarios como diseñadores; supone que los sistemas socio técnicos completos evolucionan con el conocimiento sostenido del uso y de la construcción, con el apoyo de la participación informada. A diferencia de metodologías que pretenden desarrollar sistemas complejos como artefactos completos con la participación de pequeños grupos, SER tiene como objetivo la conformación de semillas (siembra) que evolucionan con la participación de pequeñas aportaciones de un gran numero de personas a través del tiempo, así una semilla es una *"colección inicial de conocimiento del dominio que está diseñado para evolucionar en el tiempo de uso"* (Fischer & Giaccardi, 2006, p. 436)

³⁴ Seeding, Evolutionary Growth, and Reseeding (SER) Process Model. Siembra, Crecimiento Evolutivo y Resiembra (SER) Modelo de Procesos.

La fase de crecimiento evolutivo se ocupa de cómo se utiliza la semilla y cómo trabaja, explorando los problemas y con ello aportando información específica que posiblemente no sea reutilizable al no estar integrada a la información inicial de la semilla pero que se hace valiosa en la fase de resiembra en donde se organiza, formaliza y generaliza dicha información para ser incorporada y articulada en una nueva semilla en un nuevo ciclo de crecimiento evolutivo.

Los medios de comunicación para poner en contacto a los usuarios y los diseñadores son fundamentales para poder apropiar los conocimientos de experiencia de los primeros y dinamizar los procesos de meta diseño; Alexander (1964) distinguía entre una cultura inconsciente de diseño y una cultura consciente de diseño, de un lado los usuarios ajenos a la construcción de la forma pero con acciones directas de adaptación sobre los objetos y los sistemas, y de otra parte los diseñadores y desarrolladores sin la experiencia del uso dentro del contexto. Con lo cual la relación con la cultura inconsciente del diseño se hace provechosa y valiosa dentro de la estructura del meta diseño, como la participación informada que construye medios de comunicación en doble vía permitiendo afrontar con éxito los problemas, pero requiere de cambios sociales, nuevos sistemas interactivos y recursos de debate y discusión social.

	Consciente de sí mismo	Inconsciente
Definición	Una descripción explícita externalizado de un diseño existente (conocimientos teóricos)	Proceso de adaptación lenta y reducción de error (conocimiento situado)
asociación original	Dominado por profesionales del diseño, diseño para los demás	Las sociedades primitivas, las cosas hechas a mano, Diseño para si mismo
principal objetivo	Resolver los problemas de otros	Resolver problemas propios
ejemplos	Ciudades diseñadas: Brasilia, Canberra; Microsoft Windows	Ciudades que crecen de forma natural: Londres, París; Linux
fortalezas	Las actividades pueden ser delegadas; División del trabajo se hace posible	Muchas mejoras pequeñas; artefactos bien adecuados a su función; hace frente a problemas mal definidos
debilidades	Muchos artefactos están mal adaptados al trabajo que se espera de ellos	No existen teorías generales o pueden ser estudiados (debido a que la actividad no se exterioriza)
requisitos	Deben existir descripciones externalizados	Propietarios de los problemas deben participar porque no tienen relevancia, conocimiento desarticulado
evaluación criterios	Alto valor de producción; proceso eficiente; robusto; confiable	Personalmente significativo; experiencia atractiva y agradable; autoexpresión
relación con contexto	Contexto necesario para la elaboración del problema	Tanto encuadre del problema y toma soluciones se debe colocar dentro del contexto más amplio

Cuadro 13 Comparación de las Culturas de Diseño consciente e inconsciente.

(Fischer & Giaccardi, 2006, p. 434)

El enfoque de meta diseño se hace visible en diversas prácticas artísticas y creativas actuales aun cuando formalmente no estén estructuradas como tal, pero si permiten verificar en la practica la viabilidad de la operación y la complementariedad en los procesos con resultados verificables, dentro de los que se podrían mencionar el Arte interactivo, la Creatividad social, las Comunidades de aprendizaje y el Open source (código abierto), entre otros.

El meta diseño se expresa en el arte interactivo en la colaboración y la co creación de tal forma que un diseño original establece un contexto donde los usuarios pueden crear y manipular desde el código, la conducta o el contenido, es decir que se coloca ya no el objeto como tal sino las herramientas en manos de los usuarios, permitiendo que la interacción, la participación y la colaboración potencien la creatividad; así el arte interactivo se ocupa de la base, el ambiente de intercambio y la interacción, viéndose a si mismo como el objeto real de la producción.

En la creatividad social el Meta diseño se expresa en la medida que el conocimiento necesario para resolver un problema sobrepasa el conocimiento de una sola persona, pero al estar distribuido en un grupo de usuarios estos tienen un conocimiento particular y una perspectiva distinta del uso y el problema, aportando en conjunto una amplia base para la creatividad que se ve forzada por la necesidad de trabajar a partir de las discrepancias y los cambios. Los sistemas abiertos permiten adaptaciones y evolución más acorde a los cambios del contexto, las necesidades y las expectativas.

La participación informada permite la creación de ambientes de aprendizaje más productivos y especialmente más adecuados al entorno real de los problemas, por tanto en los ambientes de aprendizaje en vez de un maestro que sirve como guía, éste hace el acompañamiento como estructurador del ambiente, como meta diseñador, en donde los participantes asumen un papel fundamental en la definición de los problemas, en las formas de investigación y en el tipo de respuestas que pueden resultar, así las comunidades de aprendizaje actúan dentro del meta diseño.

Otro de los enfoques de aplicación del meta diseño es el Código Abierto u Open Source, aunque no en el estricto entorno de la programación, ya que allí son expertos informáticos que interactúan para el mejoramiento del programa a través de un código base, pero si desde la perspectiva de la organización del trabajo cooperativo distribuido, en donde todos los colaboradores adaptan a partir de una base las necesidades y deseos en soluciones particulares que comparten para todos; de acuerdo a Fischer y Giaccardi (2006)

existen cinco características o principios para que el modelo de diseño colaborativo sea exitoso en el meta diseño, 1. Debe parecer posible el cambio de decisiones 2. Los cambios deben ser técnicamente posibles 3. Los beneficios deben ser evidentemente percibidos 4. Apoyar la tareas que la gente comúnmente hace y no tareas marginales y 5. Mínimas barreras para poder compartir los cambios.

El meta diseño busca romper las barreras entre consumidores y diseñadores aprovechando las competencias profesionales de unos y la creencia fundamental de los seres humanos de actuar como constructores de su propio entorno, animando a los usuarios a participar en la generación activa de extensiones de los artefactos, considerándolos personalmente significativos e importantes. Fischer y Giaccardi valoran esta relación señalando que: *El Meta-diseño crea las condiciones propicias "para activar el talento de todo el mundo" [Raymond & Young, 2001]. y el compromiso del Diseño de la participación, de la planificación y de la participación en el cambio continuo (de do-it-yourself a ambientes adaptables), y da a todas las personas el acceso a las herramientas, los recursos y el poder que han sido custodiados celosamente prerrogativas del profesional* (Fischer & Giaccardi, 2006, p. 442).

Los tres niveles de Meta diseño propuestos por Fischer y Giaccardi (2006), Diseño del diseño, el Diseño Juntos y el Diseño “en medio” se corresponde al mismo tiempo a tres capas o espacios de diseño, el primero a una infraestructura técnica que podría interpretarse como un modelo, estructura o método de diseño, que es “evolucionable”, segundo a la organización del trabajo que permite a los usuarios contribuir en el diseño en un ambiente de aprendizaje y tercero un sistema socio técnico en donde los usuarios tienen motivaciones y recompensas. Estos tres niveles se relacionan y son interdependientes en donde las posibilidades computacionales lo facilitan y el trabajo colaborativo lo integra, al mismo tiempo que abarca los aspectos *cognitivos (diseño consiente e inconsciente) sociales (creatividad social), computacionales (sistemas y ambientes) y metodológicos.* (Fischer & Giaccardi, 2006, p. 444)

	Niveles de Meta diseño	Descripción del nivel	Problema	Dimensiones	Métodos técnicos y	
--	------------------------	-----------------------	----------	-------------	--------------------	--

INTEGRACIÓN	Primer nivel de metadiseño	Diseñando el Diseño: meta diseñadores juegan un papel importante en el establecimiento de las condiciones que permitan a los usuarios convertirse en diseñadores	Anticipación: necesidades y tareas de los usuarios no pueden ser totalmente anticipados en tiempo de diseño (ya que están mal definidos y cambian con el tiempo)	Epistemológico / Computacional	El desarrollo del usuario final y la siembra: los usuarios transforman, modifican y ajustan los sistemas para lograr una mayor adecuación entre lo que se puede prever en tiempo de diseño y lo que emerge en el tiempo de uso	APERTURA ESTRUCTURAL
	Segundo nivel de metadiseño	Diseñar en conjunto: los diseñadores y los usuarios colaboran en la actividad de diseño, tanto en tiempo de diseño y en el tiempo de uso y en diferentes niveles de agregación social (como individuo, grupo y / o de la comunidad)	Participación. Los usuarios deben participar en el encuadre del problema y en el proceso de resolver problemas, tanto en tiempo de diseño como en el tiempo de uso.	Social/ Cognitivo	Diseño participativo: los usuarios están involucrados en la etapa de ajuste inicial en tiempo de diseño, mientras que la crítica y otras técnicas de apoyo a capacitar a los usuarios para aprender y convertirse en diseñadores en el tiempo de uso.	APERTURA INTERACTIVA
	Tercer nivel de metadiseño	El diseño "en medio": define cómo los procesos de co-creación y los comportamientos de co-evolución pueden sostenerse	Socio-técnicos: Dimensiones sociales y técnicas tienen que integrarse no sólo con el fin de optimizar y hacer más eficiente, sino permitir que nuevas interacciones y relaciones emerjan	Cognitivo / Social	Siembra emocional y la agencia de modelado: métodos y técnicas para permitir la detección, emociones y actividades "afectivos" entre los usuarios	

Cuadro 14 Niveles del Metadiseño.

(Fischer & Giaccardi, 2006, p. 446)

A través del Meta diseño se puede lograr la participación de un usuario final con una nueva mentalidad, una mentalidad cooperativa, colaborativa y creativa, no solo como simple consumidor sino como quien en el proceso desarrolla actividades personales significativas con sus contribuciones en el diseño más allá del problema técnico que representa el meta diseño, al utilizar los poderosos medios digitales para apoyar la participación y la colaboración, (como medio que crea el entorno apropiado), permite superar las restricciones de los sistemas cerrados, lo que promueve la creatividad social.

Los retos técnicos y sociales que plantea el meta diseño se sintetizan, de acuerdo con Fischer y Giaccardi (2006) en seis aspectos fundamentales, primero la tensión entre la estandarización y la improvisación, segundo, la dificultades de integrar los resultados en el entorno compartido, tercero, la disposición de los usuarios en aprender para convertirse en aportantes en el diseño, cuarto, el apoyo eficaz en actividades significativas para la co creación, quinto, el capital social y la apropiación tecnológica y sexto, un nuevo espacio de diseño que integre tanto las condiciones técnicas como las sociales. Sin embargo se considera una apuesta importante y una dinámica que se esta desarrollando de manera natural, con lo que el *“Meta-diseño permite una especie de oportunismo creativo no planificado y se dirige a uno de los retos fundamentales de la sociedad del conocimiento: inventar y diseñar una cultura en la que todos los participantes en un proceso de diseño colaborativo puede expresarse y participar...”* (Fischer & Giaccardi, 2006, p. 447)

6.2.2 Meta Diseño. Cambio cultural. Cambio de paradigma

Asumiendo una analogía entre los sistemas vivos y los sistemas desarrollados por el hombre, para colocar en valor el Metadiseño, se podría decir que los sistemas vivos son sistemas determinados estructuralmente y por tanto todo lo que sucede a alguno de ellos depende de la estructura y afecta la estructura. Es decir existe un Determinismo estructural, con Regularidades y Coherencia y todo agente externo que intenta afectar el sistema debe ser regular, constante y reconocido o de otro modo es algo extraño, inexplicable o un “milagro”.

Los sistemas vivos son maquinas moleculares que operan en redes cerradas cuya producción es la misma red que los produjo (sistemas autopoieticos) y tienen la capacidad de adaptarse dado el carácter plástico de su sistema estructural, respondiendo a las interacciones con el exterior y con ello manteniendo su vida. La conservación de la congruencia operativa de una estructura frente a las interacciones recursivas mantiene la identidad de la estructura.

Dentro de los sistemas son dos dominios los que actúan, el propio, como estructura que actúa y se adapta en relación al medio, y otro en donde se reconocen las diversas estructuras como organismos o seres vivos, para su permanencia, tal como lo describe Maturana diciendo que: *todo lo que ocurre en o para un sistema vivo es operacionalmente subordinado a la conservación de la forma de vida que define y realiza, en el dominio en el que opera como conjunto o totalidad.* (Maturana, 1997, p. 2). Al mismo tiempo, el medio como

espacio donde funciona un sistema, responde a los intercambios constantes con los sistemas que contiene y por tanto cambia congruentemente.

Al operar como un todo la identidad de un sistema se constituye y se conserva, en las interacciones recursivas dentro del medio que lo contiene, así, *“Tanto el sistema vivo (organismo) como una entidad natural, y un robot como un producto del diseño humano, son sistemas determinados estructuralmente en coherencias operacionales dinámicas con el medio como estructura determinada o circunstancia en la que existen como lo que son. La diferencia entre ellos está en la forma en que sus respectivas coherencias operacionales con sus circunstancias surgieron en su historia de origen.* (Maturana, 1997, p. 8)

Los sistemas creados por el hombre surgen a través del diseño, en donde el diseñador dispone de un conjunto de elementos y una configuración de las relaciones entre ellos, que opera dentro de una totalidad dinámica, en congruencia con un medio que ha sido diseñado también en concordancia, y por tanto la interacción dinámica entre medio y sistema responde a un diseño previsto. Lo que Maturana marca como una tendencia hacia la *technomorphisation de la existencia humana* (Maturana, 1997, p. 10), es decir una reorganización en términos de las maquinas.

Entre tanto los sistemas objetuales se comportan bajo ciertas reglas de los sistemas vivos, las analogías entre ellos se hacen validas y reportan estructuras de validación, permitiendo además generar relaciones de intercambio, superposición conceptual y el desarrollo de modelos de trabajo. El Metadiseño se relaciona directamente con el desarrollo de los entornos más que los objetos y se identifica con los conceptos de mimesis, sostenibilidad y ciclos solares, por tanto supone transformaciones culturales y cambios de paradigmas tanto en el desarrollo de los objetos como en los ambientes y en los individuos que harán uso de ellos.

Existe una relación multidimensional entre lo que se ha asumido como el diseño sostenible y el meta diseño, aunque en principio habría que decir que el diseño sostenible como tal debería replantearse hacia un diseño co-sostenible, de acuerdo a Wood (2013) en la medida que esté seria consciente de la dependencia de todos los sistemas entre si y no los pequeños esfuerzos aislados que finalmente han tenido un tímido efecto desde su planteamiento en el informe Brundtland, ya que un sistema integral como la biosfera no es capaz de sobrevivir con esfuerzos aislados sino con una acción global de adaptación colectiva. En otro sentido la biomimesis (Benyus 2012) orientada desde la naturaleza hacia la tecnología y el desarrollo de productos se ve limitada al copiar organismos o sus partes y

no los ecosistemas, que con sus relaciones simbióticas generan la sinergia natural de la vida y por ello Fairclough (2005) propone la idea de Eco mimética que sugiere abordar los problemas como ecosistemas completos e integrales que logran equilibrio entre las entidades internas y externas.

Para lograr implementar un meta diseño seria necesario trabajar conjuntamente diseñadores, economistas, políticos y científicos especialmente en un cambio de paradigma en los estilos de vida y en los comportamientos, dado que son ellos mismos quienes hacen resistencia a partir de los intereses económicos, políticos y sociales, así el diseño de productos se transforma en un meta diseño en donde se da la co creación de espacios futuros posibles. El diseñador especializado en la integración de la forma y la función y que sirve como catalizador del consumo, sobre pasando su etapa de diseñador verde y sostenible, pasaría a ser parte del equipo de meta diseño cuyos objetivos pasan del artefacto, la función o la forma de abordar el diseño a un “*diseño anticipatorio integral*” (Fuller, 1969, p. 9)

La dificultad fundamental para abordar el meta diseño esta asociada a la visión del mundo como una entidad económica en donde incluso el diseño ecológico, sostenible o verde han reforzado los mercados sirviendo a los empleadores y no como entidad ecológica que actúa colaborativamente como sistema integrado y de la cual depende el bienestar de todos. Algunas ideas se ha formulado alrededor de la visión de la entidad ecológica como la economía circular, la producción cero residuos o las consideraciones de la producción de “*la cuna a la cuna*” (McDonough & Braungart, 2002) pero la manera como son adoptadas son contingentes, poco creativas y responden más a iniciativas políticas con repercusiones legislativas y fiscales, alejadas de un enfoque de meta diseño que integraría el diseño, la política y la economía.

Wood (2013) retoma la descripción de diseño de Aristóteles como la “causa final” o la finalidad a futuro de las ideas presentes y establece para el diseño dos líneas de tiempo, una es local a corto plazo o de desarrollo del proyecto y la segunda en donde se consideran los efectos en su uso, mal uso y modificaciones, entre otros, en el tiempo de uso del producto; sin embargo señala para el meta diseño acciones tanto en el presente, como para el futuro, negando de principio la creación de “deseos” para el futuro, lo cual cambia el paradigma del consumidor y deja de ser una acción predictiva individual a ser una acción colectiva de “siembra” que incluye oportunidades no previstas. El diseñador tradicional logra sus objetivos en el desarrollo del producto o servicio pero los equipos de meta diseño tendrán que regular las posibilidades futuras y las repercusiones que el producto pueda

tener en todos los ámbitos humanos y ecológicos, apelando al reconocimiento de la sinergia de los procesos y los sistemas.

CARACTERISTICAS DEL META DISEÑO

1. Se necesita un nuevo paradigma
2. "Lenguas" en nuevas realidades
3. Eco-mimética
4. Busca una 'sinergia de sinergias'
5. Integral
6. Adaptable y Interoperable
7. Colaboración
8. Presente orientado
9. Busca resultados fractales
10. Radicalmente optimista

OBJETIVO

Reforma por etapas no es suficiente
Existen paradigmas en parte en la mente
Busca inspiración en la naturaleza
Sinergia es la única ventaja de la naturaleza,
Tenemos que unir todas las partes
Necesita ser desarrollado y aplicado por todos
Debemos trabajar junto a otros expertos
Es demasiado complejo para ser predictivo
Tenemos que encontrar nuestro camino alrededor de los sistemas
Tenemos que tratar de pensar más allá de lo posible

Cuadro 15 Diez atributos del Meta diseño según Wood.

(Wood, 2013, p. 435)

6.2.3 Nuevo espacio del Metadiseño

El meta diseño sugiere un nuevo espacio de diseño que exige una práctica reflexiva compartida, en donde se gestiona la construcción colaborativa del entorno y las relaciones con el mundo, apoyado en el conocimiento socio tecnológico, la capacidad de acción con conocimiento del diseño y la responsabilidad ética.

Se cree necesario hacer una revisión sobre los modelos del diseño frente a los cambios sociales, tecnológicos y materiales más allá de proponer nuevos modelos. Se deben orientar nuevos "modos" que tengan en cuenta principios organizados en diferentes niveles y crean un "espacio de diseño" que aborde las nuevas formas de gestión colaborativa. Las condiciones materiales y existenciales del diseño se han visto modificadas por la difusión de las tecnologías de la información, por tanto han de ser revisados los límites y alcances del diseño para abordar la construcción del entorno y sus relaciones de manera colaborativa.

Esto implica que la manera cómo se diseñan las interacciones y los sistemas socio técnicos a partir del reconocimiento de lo artificial y lo natural y entre el "yo" y el "otro" en un

medio cambiante con diferentes maneras de habitar, se debe definir en un nuevo espacio de diseño. Lo que Giaccardi plantea como:

La definición de un nuevo espacio de diseño es un tema que se ocupa de los procesos mediante los cuales producimos el mundo que habitamos. Es un cambio de enfoque en las necesidades humanas a uno de esfuerzo creativo humano, desde un enfoque en el usuario a uno en la acción creativa. (Giaccardi, Principles of Metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 32)

Es decir una aproximación transversal de las interacciones y no a un sujeto cerrado, lo cual permite dejar atrás dualismos en la resolución de los problemas y promueve la formación de nuevas relaciones sociales apoyadas en la artificialidad emergente que permiten a su vez pasar de un saber qué a un saber cómo y de un diseño de planificación a un diseño de siembra.(Giaccardi 2003)

El nuevo estado de las condiciones materiales de la sociedad contemporánea debido a la infraestructura computacional en red cada vez más amplia y profunda, conduce a una nueva idea de la materialidad o mejor de la inmaterialidad y la desmaterialización tanto del entorno como de los espacios de interacción, así los espacios y los objetos virtuales cobran importancia y se tiende a la desmaterialización o la pérdida de las cualidades físicas de los objetos.

Del mismo modo el carácter intermedio del diseño entre los programas y los métodos estructurados de la ingeniería del diseño funcionalista y metódico, es conducido a un modo retórico – metafórico que pasa de la racionalidad técnica a un modo orientado culturalmente, lo que ha sido posible por el “descubrimiento” de los límites del desarrollo industrial y la imposibilidad de un “progreso sin fin”.

La importancia de la interacción en un medio computacional extendido, es decir en el entorno, en los objetos y en las maneras de relacionarse e interactuar individual y colectivamente, conlleva a un enfoque Socio-Técnico renovado del diseño y para ello es indispensable un nuevo espacio de diseño en donde se tenga en cuenta esta nueva forma de interacción, y ello afecte los principios metodológicos de un diseño avanzado que se ocupa de los procesos con los que se produce el entorno construido.

El prefijo meta del meta diseño, está asociado desde el ámbito informático, donde éste identifica un acompañamiento que reúne e identifica un grupo, así que los metadatos

son datos que describen y acompañan los datos, los meta archivos son archivos compuestos que contienen, afectan y organizan otros archivos, pero al mismo tiempo esta cualidad meta ayuda a identificar, describir y localizar los recursos dentro de una estructura mayor. En diseño industrial el termino Meta diseño además de remitir a un nivel superior de diseño, remite a otras técnicas y procesos de diseño mediados por sistemas computacionales que más allá del objeto virtual genera una estructura a la que se accede fácilmente y que puede fácilmente modificar, sustituir e intercambiar todos los aspectos relacionados con el problema, así se constituye más en una herramienta que en un objeto y trasciende el diseño cerrado y único.

En ambientes informáticos digitales las imágenes están constituidas por pixeles y los objetos por voxels, y el diseño articula su organización en configuraciones para su producción, el meta diseño determina las cualidades y condiciones del objeto sin ser propiamente el objeto, aun cuando dichas condiciones sean variables, el meta diseño es el sistema de información en red de las decisiones que hace que el objeto sea una realidad, además no único, sino una familia de objetos, por tanto es al mismo tiempo la etapa de diseño del diseño.

El meta diseño por tanto ha permitido desarrollar los principios y herramientas para la personalización masiva de productos y los procesos de diseño distribuido, en donde las personas y organizaciones no están físicamente cerca pero se apoyan en el uso de las redes y diversos recursos tecnológicos para diseñar y fabricar productos y servicios. Lo que enmarca al meta diseño como un conjunto de decisiones y planificación cuyo objetivo no es el producto mismo, en concordancia con el papel principal de diseñador cual es tomar decisiones.

La idea de meta diseño como diseño de principios generativos desarrollada por Soddu (1989) propone como objetivo del diseñador desarrollar producto-ideas en donde el meta diseño es la herramienta que permite que sean ideas-ejecutables dentro del era de la información, desplegando especies de objetos y su generación, en contraste con el desarrollo de objetos de la era industrial, que durante dos siglos creo objetos idénticos en masa.

Desde esta perspectiva Meta diseño es un concepto importante en la práctica del diseño moderno, y específicamente dentro del paradigma de diseño generativo. Se concibe como el acto de diseño de un sistema o diseño de especies, en lugar de una instancia de diseño. El diseñador, o meta diseñador, es el creador de la idea, y el

consumidor el que elige a una de sus posibles realizaciones. La esencia de la capacidad creativa del diseñador o artista, está en la idea, o el código generativo, que pretende ser reconocible. (Giaccardi, Principles of metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 111)

Como ejemplo Soddu propone que una empresa puede comprar una idea-proyecto morfogenética y el sin fin de modelos 3D generados por ella para construir los productos y el cliente puede activar incluso por internet la herramienta generativa y así obtener un objeto único o en otros casos modificar las condiciones y personalizar la idea-proyecto para que responda a su identidad. Esta relación generativa del meta diseño implica la aplicación de técnicas de diseño generativo para el diseño y desarrollo de nuevos productos, redefiniendo el papel del consumidor frente al diseño y que el diseñador percibe como retroalimentación estructurada y detallada para un refinamiento más rápido que las técnicas de investigación de mercado. *“En este contexto meta diseño es visto como el diseño del principio generador de formas, algo más abstracto que la forma real, pero capaz de reflejar al diseñador más profundamente”*³⁵

Según Giaccardi(2003) el meta diseño si bien ha producido avances positivos en técnicas y métodos en lo relativo a su consideración como nivel (detrás de) no ha logrado el mismo efecto o al menos se han quedado en la especulación teórica, en relación a su consideración de diseño entre o diseño en medio de, y esto solo se ha potenciado en el entorno del diseño experimental del Net Art. En las tres consideraciones del prefijo “meta” según su origen etimológico (detrás de – después de, entre – en medio y juntos – con) y el diseño se desarrolla una coexistencia coherente en la cultura de diseño.

Se plantea una correspondencia desde la epistemología a la practica de Meta diseño entre:

Diseño detrás – anticipatoria – diseño de estructuras – Diseño del diseño

Diseño Juntos – Participativa – Colaborativa – Diseño de configuración

Diseño en medio – Socio técnica - en red – Diseño del entorno

Con lo cual se estructura un modelo de trabajo cíclico con niveles diferenciados pero que constituye un Saber Como, que va del espacio de diseño al espacio de uso, y del diseñador al usuario y del productor al consumidor en un espacio estructural, colaborativo y en red, en definitiva un complejo espacio de diseño, meta diseño.

³⁵ Comunicación personal de Mauro Annunziato a Elisa Giaccardi, mencionada en Principles of metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space pagina 113

En el primer nivel, como un nivel de orden superior (detrás de) se da la posibilidad de transformar y modificar las estructuras y procesos en donde se suceden las dinámicas de tareas, situaciones y comportamientos, aprovechando los medios computacionales y la fácil adaptación de los programas. Es por tanto una etapa anticipatoria que se centra en la dinámica de los procesos que permite prever las eventualidades tanto del proceso de diseño como el proceso de uso y prestando más atención al proceso mismo que a los resultados; Giaccardi resume este nivel así:

- 1. La explotación de los medios computacionales y entornos de red como infraestructuras técnicas.*
 - 2. Diseño de estructuras y procesos generales (Nivel alto de diseño).*
 - 3. Métodos y técnicas para diseñar a un meta-nivel (es decir, diagramación y la siembra).*
 - 4. Ajuste de las condiciones iniciales para permitir a los usuarios, a su vez, se convierten en diseñadores (es decir, sub diseñadores e infra prescriptores).*
 - 5. maleabilidad y modificabilidad de estructuras y procesos (usuario final modificabilidad y programación).*
 - 6. Situado procesos y condiciones emergentes (abiertos y sistemas evolucionables).*
 - 7. El aprendizaje permanente y la creatividad compartida (co-creación).*
- (Giaccardi, Principles of Metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 341)

El segundo nivel se puede asumir con una etapa de co – creación en donde diseñadores, usuarios y productores interactúan para la planificación del trabajo y el establecimiento de modelos compartidos para participar en el proceso tanto de diseño como de uso, intentando anticipar nuevamente en la diversidad las eventualidades e imprevistos, en este segundo nivel Giaccardi resalta el potencial de interacción por estar inmersos en un entorno socio técnico compartido y lo resume así:

- 1. Puesta en común de las actividades de diseño.*
- 2. Niveles abiertos y fluidos de aprendizaje y de agregación social de trabajo (es decir, las comunidades de práctica, las comunidades de interés, etc.).*
- 3. Bucle Operacional de tiempo de diseño y tiempo de uso (lógica no binario).*
- 4. Métodos y técnicas para involucrar a los usuarios y desarrolladores en la etapa de ajuste inicial en tiempo de diseño (diseño participativo).*

5. Métodos y técnicas para poner a los usuarios en la condición de toda la vida y a su vez como alumnos y diseñadores

6. Estado participativo Usuarios (interaccionismo incorporado).

7. Mejora general de la condición humana enactiva (co-creación). (Giaccardi, Principles of Metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 343)

Las interacciones reciprocas y recurrentes como patrón en un entorno socio técnico provoca la co evolución y permite la co creación, en meta diseño este tercer nivel sería la base de las relaciones e interacciones que activan los procesos tanto conceptuales como metodológicos acorde a la naturaleza de los problemas de diseño, pero al mismo tiempo genera una transición de un modelo teleológico del diseño a un entorno social creativo que diseña no solo la relación armónica con los artefactos sino que tiene en cuenta las interacciones entre si y con el sistema; Giaccardi resume este nivel así:

1. Diseño de entornos relacionales y cuerpos afectivos.

2. Métodos y técnicas para potenciar los procesos co-creativos y los comportamientos co-evolutivos

3. Apropiación de la actividad de los usuarios y el tono emocional de la experiencia de interrelaciones (cuerpos afectivos).

4. Métodos y técnicas para permitir la detección emocional y las actividades de interacción.

5. Métodos y técnicas para permitir interacciones recíprocas y recursivas (procesos coevolutivos).

6. Métodos y técnicas para establecer el tiempo como una red de intencionalidades y el espacio como una proximidad intersubjetivo (ajustes relacionales).

7. Crear un ambiente perceptible y viable para hacer frente a la apertura y, finalmente la imprevisibilidad ("apertura interactiva").

8. El paso a un modo creativo de la existencia frente a un modelo teleológico de diseño (co-creación).

(Giaccardi, Principles of Metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space, 2003, p. 346)

El nuevo espacio de diseño que involucra a los diseñadores en un nuevo y renovado papel en la gestión de las interacciones asociadas con el contexto, a los usuarios en su mejor condición crítica a partir de la experiencia de uso y con herramientas de análisis y de

diseño y el mismo entorno social con sus condiciones económicas y productivas, apoyados todos ellos en las herramientas computacionales, hacen que el meta diseño se constituya no en un modelo ni un método de diseño, sino como bien señala Giaccardi en un nuevo modo del diseño, es posible que en un futuro próximo sea este modelo que por ahora ha logrado consolidarse como meta diseño sea simplemente diseño.

En este nuevo modo de diseño, (Metadiseño) subyace una renovada relación de cooperación de los actores sociales y plantea una cuestión colectiva sobre el futuro posible, estableciendo las condiciones para el trabajo co evolutivo, co creativo y especialmente colaborativo y de cierto modo prospectivo para la construcción de los significados, los artefactos y el entorno socio técnico.

6.3 METAFORMA

La evolución en la práctica del diseño industrial se ha visto marcada por los cambios del entorno económico y productivo, que son reflejo de las condiciones políticas y culturales de nuestra sociedad. Por tanto se pueden identificar en su historia ciertos rasgos en paralelo dichas condiciones. Así, el diseño a pasado desde su inserción en la industria a ser un elemento clave en la innovación y la competitividad, incorporando aspectos como la ergonomía, la gestión de proyectos y el manejo de marca, en donde el diseñador ha asumido diversos roles: como creador, como parte de un equipo con ingenieros y expertos de mercado, como elemento de unión entre el mercado y los usuarios, como coordinador de los equipos de diseño, como creador de experiencias y más recientemente como motor de la innovación. Teniendo en cuenta además que en las últimas décadas existe una gran preponderancia de lo digital y esto lo impacta todo.

Los cambios son cada vez más rápidos tanto en los entornos como en las tecnologías e impactan significativamente un ejercicio multidisciplinario como es el diseño; esto hace que el profesional reconsidere y reafirme su objeto de estudio y sus dominios. De esta manera el desarrollo del entorno productivo apoyado en la tecnología ha permitido la evolución de modelos de Manufactura Digital Directa, modelos CAS – CAD – CAM (estética, diseño y manufactura asistida), Programación Gráfica dentro del Diseño Paramétrico y modelos de Arte Generativo, afectando en consecuencia los modos de abordar los problemas de diseño y establecen algunas características específicas en su marco de trabajo.

Considerando la forma como el dominio fundamental del diseño, los demás aspectos, sociológicos, físicos y tecnológicos son útiles si de alguna manera contribuyen a la determinación de la forma, porque solo a través de ella se manifiesta la síntesis de esta amalgama diversa de contribuciones. Por tanto de acuerdo a los cambios al rededor de la determinación de la forma es necesario hacer una adaptación, estableciendo claramente su relación con las demás disciplinas y fortaleciendo su dominio dentro del diseño, de tal modo que dentro de la lógica de meta proyecto y meta diseño, la Metaforma permita una relación eficiente entre los diferentes dominios disciplinares y una especialización más profunda del diseño.

La creación única y estática de una forma, aunque se reproduzca millones de veces ha perdido eficiencia como modelo productivo y revela la inoperancia de una estrategia no

evolutiva para la generación de formas, teniendo en cuenta un contexto que exige cambios permanentes y adaptaciones cada vez más precisas. Si el desarrollo creativo de la forma en el diseño no se adapta y asimila los nuevos medios, perderá su función dentro del contexto creador del entorno humano y será absorbido por las otras áreas de conocimiento como la ingeniería.

La Metaforma será entonces la arquitectura paramétrica fundacional de una especie formal que recoge además de las intenciones de diseño, los límites estructurales, funcionales, técnicos y productivos existentes, las cualidades y características del entorno social con un lenguaje adecuado, en entidades materiales, cuyo fin se expresa en artefactos de uso práctico o contemplativo. Es entonces el resultado del desarrollo generativo de las formas, las capacidades digitales en modeladores 3D y la programación gráfica de scripts, articulados en el ejercicio de diseño.

Crear modelos flexibles, controlados y producibles de la forma da un nuevo cuerpo de trabajo al diseño apoyado en los parámetros y la integración de los medios digitales, por lo cual es necesario un nuevo reconocimiento de lo disciplinar en el diseño, potenciando su desarrollo y creando relaciones en igualdad de condiciones con lo interdisciplinar.

La Metaforma da cuerpo a todos aquellos esfuerzos aislados que han empujado la evolución del diseño y refleja un modelo de trabajo que integra las capacidades generativas de los medios digitales, las capacidades productivas en la manufactura digital directa y la programación de algoritmos. De esta manera da respuesta a la personalización masiva, la producción localizada y al diseño participativo o de origen abierto. La Metaforma como dominio del diseño en la nueva revolución industrial siembra las bases de las relaciones disciplinarias bajo el lenguaje de la era digital, consolida el concurso del diseño en el desarrollo material del entorno humano y potencia la investigación en un dominio propio.

6.3.1 Origen y definición

La definición misma del diseño industrial como disciplina y la caracterización del perfil profesional del diseñador industrial han sido siempre objeto de debate por las imprecisiones con que se presentan y por los diferentes acentos que le rodean. Esto reafirma finalmente su carácter multidisciplinario y sus profundas relaciones con diferentes áreas de conocimiento que pueden cambiar según sea el ejercicio proyectual que se aborde. La dualidad y el equilibrio entre aspectos como la forma y la función o el ejercicio práctico o

teórico han merecido extensos e innumerables estudios que si bien aportan claridad y exponen argumentos solidos, mantienen un rango de incertidumbre, cambio y evolución intrínseco a la práctica del diseño industrial. Como muestra de ello solo basta revisar cuantas definiciones como profesión se han adoptado en los últimos 60 años y cuan diversas son las definiciones vigentes en diferentes contextos.

Estas múltiples definiciones procuran expresar a la comunidad en general y a la comunidad académica y científica el espacio que ocupa el diseño dentro del conocimiento humano y su rol dentro de la sociedad, sin embargo al interior, para si misma, para los diseñadores, aprendices y maestros se mantiene la incertidumbre, (que se puede entender como la cualidad adaptativa del diseño) aunque se intente resolver declarando acentos u orientaciones específicas que ayudan a dar cuerpo a su practica. Los dominios en diseño y las competencias necesarias en los diseñadores han servido para refinar una estructura fija sobre la cual desarrollar la interacción con diferentes disciplinas sin perder su rol pero al mismo tiempo manteniendo la flexibilidad necesaria. En estos dominios es donde se pretende identificar un concepto que unifique y abarque sin ambigüedad el ejercicio del diseño industrial para poder avanzar el reconocimiento de un rol específico en la creación de entornos artificiales.

La ambigüedad en la definición del ejercicio del diseño industrial ha permitido que otras profesiones intenten asumir las tareas y responsabilidades del diseñador ya que sus limites difusos y permeables así lo permiten, de tal modo que arquitectos, ingenieros de diseño y artistas plásticos entre otros han considerado factible su desempeño como diseñadores, ocupándose de la determinación de la forma en diversos productos, creando mayor incertidumbre entre los dominios y competencias reales de los diseñadores y su rol dentro de la creación del entorno artificial. Es por esto que se hace necesario de alguna manera identificar aquellos dominios y competencias sobre los cuales el diseñador industrial es experto, sin invadir o intentar asumir otros campos de conocimiento, a la vez que impidiendo que otros consideren posible abordar los suyos. Además de reforzar un marco teórico y práctico para hacerlo más preciso, en donde se reconozca fácilmente el papel del diseñador dentro del proceso de desarrollo de productos y del entorno artificial en general, esta identificación permite la construcción de conocimiento propio con mayor solvencia, líneas de investigación que no dependan o no deriven de otras áreas de conocimiento y finalmente de este modo definir fronteras disciplinares que permitan una interacción dinámica y un trabajo colaborativo en igualdad de condiciones, reconociendo responsabilidades, saberes y dominios propios. Es decir aquel dominio o dominios en los que los diseñadores actúan a partir de conocimientos propios, en los que son expertos

apoyados en una formación específica, que no dependen ni práctica ni teóricamente de otras estructuras de conocimiento, que los identifica dentro del contexto disciplinar y en los que ninguna otra disciplina ha evolucionado como para suplantarlo o asumir su rol.

La evolución del dominio de la determinación de la forma, forzado por el desarrollo tecnológico y las demandas del mercado, además de impactar la práctica del diseño industrial ha permitido generar una reflexión en cuanto a su valor y relevancia dentro del ejercicio profesional. Así emerge el concepto de Metaforma que se introduce en esta tesis y que pretende ser parte de esa identificación de fronteras disciplinares, de la especificación de dominios propios y base de desarrollo teórico y práctico del diseño en la era digital.

La Metaforma que se presenta como la síntesis creativa del ejercicio del diseño que concatena de manera armónica y flexible todos los aspectos relativos al producto en un lenguaje digital compartido como plataforma de desarrollo. Se define como la arquitectura paramétrica fundacional de una especie formal que recoge además de las intenciones de diseño, los límites estructurales, funcionales, técnicos y productivos, las cualidades y características del entorno social con un lenguaje adecuado, en entidades materiales, cuyo fin se expresa en artefactos de uso práctico. Al desglosar la definición del concepto de Metaforma tenemos que apelar a siete dimensiones que la dotan de sentido y dan cuenta de sus características

Dentro de la definición se asume la *Arquitectura* desde tres concepciones diferentes en primer lugar la que se deriva de su significado original del griego «**αρχ**» (*arch*), director, jefe o quien tiene el mando y «**τεκτων**» (*tekton*) realizador o constructor, es decir el ente que dirige y ordena la construcción, en segundo lugar como la propia estructura lógica de componentes y operaciones dentro de un sistema y finalmente como el modelo y la descripción funcional de los requerimientos y las implementaciones del diseño para todas sus partes, todo con lo cual se establece el «**Τεχνη** (*techné*)» o el saber hacer algo. De tal modo que para nuestra definición es el saber que permite estructurar tanto los requerimientos como las operaciones para la determinación de la forma

Paramétrica fundacional, en cuanto a los límites, rangos y datos dentro de los que es posible la estabilidad física - estructural y el desarrollo de las funciones, dentro de un cuerpo formal tan flexible y adaptable como sus parámetros lo permitan, siendo al mismo tiempo origen en cuanto a lo fundacional como causa (del griego αἴτιον *aition*) o principio regulador, desde el cual se derivan cambios como patrones generacionales de grupos caracterizados de formas, que pueden ser partes u objetos completos (productos) teniendo como resultado

una estructura organizada de grupos o familias de formas dentro de especies formales que pueden asimilarse a las familias y plataformas de productos.

De una especie formal, partiendo de la analogía con los filósofos naturales en el desarrollo de una taxonomía (*ordenamiento*, del griego *τάξις*, *táxon* transliterando *táxis*) apoyada en la morfología trascendental, que se construye a partir de una descripción formal clara que explica cómo están relacionadas las especies y como cada una de ellas difiere de las demás. Para nuestro caso se trata de las variaciones formales que se derivan de la flexibilidad dentro de los parámetros y que toman características identificables para estructurar especies y familias de productos.

Las Intenciones de diseño, que no son las intenciones del diseñador, su expresión personal, su filosofía o sus supuestos, aunque estén siempre filtrados por éste o su equipo de trabajo, sino aquellas que buscan el equilibrio entre cómo debería ser y cómo realmente será o en la práctica las intenciones de los equipos de diseño y la realidad del usuario final. Las intenciones de diseño tienen una relación de doble vía con los parámetros y las restricciones. Por una parte ayudan a que el concepto, las necesidades y los deseos se mantengan siempre presentes en el desarrollo y de otra parte colaborando en el establecimiento de rangos y definiciones de los parámetros. Las intenciones de diseño se han venido incorporando dentro de los sistemas de diseño asistido (CAD) dada la necesidad de un trabajo integrado y colaborativo que reconozca las intenciones conceptuales de los diseñadores en todas las etapas del proceso y en general por parte de todos los profesionales que intervienen.

Se han desarrollado diferentes modelos, algunos como software adicional a los sistemas CAD en donde incluso los usuarios pueden crear diagramas de interfaz con vínculos dentro de un esquema cinemático. Otras como la propuesta por ASHRAE³⁶, sirven para definir la intención de diseño como la explicación detallada de las ideas, conceptos y criterios definidos como importantes por el coordinador, previo al desarrollo del proceso, los cuales se utilizan como mecanismo de evaluación, otros que dividen las intenciones de diseño en intenciones estéticas y espaciales, esquemas de intenciones estructurales y de servicios, esquemas de simulación y esquemas de especificaciones entre otros, para identificar las intenciones de diseño como elementos críticos a controlar dentro del proceso, y otros que se ubican más hacia el final del proceso de diseño que conjugan los Modelos de información de proyectos (PIM), Modelos de información de activos (AIM) y Modelo de

³⁶ ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

información para la construcción (BIM) con la intención de que se entienda y defina claramente la intención del diseño dentro de los parámetros y estas se mantengan intactas.

Los límites estructurales, funcionales, técnicos y productivos, entendidos como aquellos que se establecen mediante la conjunción de requerimientos y especificaciones de acuerdo al producto, el productor y los usuarios, traducidos como datos binarios, rangos y tolerancias, y que alimentan el software paramétrico tanto generativo de modelado como de pruebas y comprobaciones. Esta integración provocada por el desarrollo tecnológico es uno de los pasos evolutivos en la determinación de la forma que sustenta el concepto de Metaforma al relacionar de manera directa y controlada aspectos dependientes que anteriormente eran tratados de forma aislada .

Las cualidades y características del entorno social cuyo tratamiento y definición resulta de la investigación de los equipos de trabajo conformados para tal fin y que del mismo modo que los límites técnicos serán traducidos en términos de datos cuando esto es posible o en intenciones de diseño que serán controladas en la generación de alternativas, haciendo parte de la integración total de información.

Con un lenguaje adecuado, entendiendo éste, para la determinación de la forma, como el lenguaje universal de las matemáticas que incluyen la geometría, la topología, y los fractales, lenguaje que se ha asentado plenamente en los medios digitales permitiendo el desarrollo de sistemas paramétricos y algoritmos que facilitan el intercambio de información dentro de los equipos multidisciplinarios de diseño.

En entidades materiales, comprendiendo que todo el esfuerzo para concatenar la información de diferentes fuentes, pretende a través de la síntesis creativa la determinación de la forma en objetos físicos materiales perceptibles y no solo como ideas o limitados al espacio virtual y digital.

En el ejercicio del diseño industrial se pone en práctica el denominado *pensamiento de diseño* a través del concepto de Metaforma. Este enfoque de pensamiento reconocido y adoptado ya en diversos campos disciplinarios que integra de manera concreta el conocimiento teórico y práctico con propósitos creativos, las necesidades de las personas, las posibilidades de la tecnología y las exigencias del mercado, tiene total correspondencia con la síntesis creativa que plantea la Metaforma al concatenar todos los aspectos relativos al desarrollo formal del producto y reconoce el pensamiento de diseño como cualidad creativa específica dentro de lo que Schon (1990) denomina Acción-Reflexión.

Dentro del concurso de las disciplinas en el desarrollo de productos es el diseño industrial el que se ocupa de la síntesis a través de la forma, por tanto debe ejercer su función acorde a los medios y lenguajes de dominio común con la ingeniería de diseño e ingeniería de producto

El concepto de Metaforma surge a partir de la transformación de los modelos y herramientas de trabajo usadas en diseño industrial y de los avances en los procesos de producción, que han encontrado sinergia al apoyarse en los medios digitales para la determinación de la forma y sistemas evolucionados de control numérico a la hora de su reproducción material. Particularmente dentro de estas transformaciones se pueden señalar:

1. La Manufactura Digital Directa desarrollada a partir de la tecnología de impresión 3D con la que prácticamente se eliminan las restricciones geométricas de las formas en la producción de piezas y componentes. La MDD presenta un desarrollo exponencial en los últimos años, pues ha incorporando muy rápidamente diferentes materiales, desde una amplia variedad de plásticos y cerámicas hasta materiales metálicos compuestos y madera, pasando de ser un sistema de prototipado rápido a un sistema de producción implementado por gran cantidad de empresas de componentes y productos terminados en todo el mundo.

Del mismo modo la MDD elimina los complejos procesos de transformación con maquinaria analógica o de control numérico dado que pasa directamente desde los programas de diseño asistido a la impresión digital, permitiendo ampliar la complejidad de las formas y el ajuste o variación según la demanda. La MDD es el desarrollo tecnológico más importante en los sistemas productivos a partir del control digital y está llamada a ser el estándar en esta denominada nueva era digital, lo cual exige a todos los ejercicios profesionales asociados a la construcción del entorno artificial, por tanto al diseño industrial y la determinación de la forma, adaptarse y evolucionar con ella para explotar sus ventajas y encontrar sus límites.

2. La Morfo Generación Digital (MGD) como resultado de la exploración de las posibilidades de creación de formas dentro de las herramientas digitales, que permiten la experimentación, la visualización 3D y un altísimo grado de comprobaciones en entornos digitales, tuvo sus inicios en la exploración estética de artistas plásticos pero rápidamente paso a manos de arquitectos, urbanistas y diseñadores, quienes ampliaron sus posibilidades explotando su relación directa con los sistemas de construcción y producción, lo que provocaría una revolución en las formas de los edificios y las construcciones y que poco a poco se evidencia en los productos de uso cotidiano. La MGD se convierte en un elemento

fundamental en el ejercicio de diseño de la determinación de la forma pues conecta la capacidad de síntesis creativa del pensamiento de diseño para crear las formas bajo un control geométrico matemático, inicialmente con los sistemas de control numérico y actualmente con los medios de MDD, finalmente la determinación de la forma puede experimentar, explorar y adaptarse dentro de unos límites liberados de constructividad y fabricabilidad.

La MGD ha sido posible gracias al desarrollo de modelos matemáticos y principios geométricos como las curvas diferenciables por porciones mediante polinomios (Splines), los algoritmos de descripción matemática de las curvas por puntos de control desarrollados por Casteljau y Bezier (Curvas de Bezier) con su modelo más básico las curvas polinómicas suaves (B-Splines) y la conjunción de puntos de control ponderados y un vector de nodos para crear superficies (Nurbs), que en conjunto han permitido liberar dentro del entorno digital las referencias cartesianas de la creación de formas y por tanto el aumento de su plasticidad y complejidad.

3. El Diseño Paramétrico como consecuencia de las posibilidades generativas de los programas CAD y el control matemático de variables por medio de parámetros, ha producido una nueva visión de la exploración formal que involucra no solamente los valores de los elementos determinantes de la forma sino de manera muy importante las relaciones entre ellos y sus afectaciones, por tanto la forma responde a la lógica establecida por el diseñador.

Las formas que surgen del diseño paramétrico a partir de una estructura lógica previa que mantiene tanto las relaciones como los valores de los rangos, son formas que pueden evolucionar ya sea por iteraciones y pequeños cambios en generaciones y familias, ya sea en diversidad de proporciones o en variedad. Especialmente se pueden adaptar a cambios en los requerimientos materiales, técnicos, sociales o productivos a los que sea sometidas bajo los parámetros, por tanto no es una forma única y estática. Son en cambio un espacio donde los diseñadores son responsables de las relaciones de las variables que determinan una forma particular con sus cualidades y accidentes.

El diseño paramétrico ha permitido abordar la complejidad de las formas por medio de un control matemático preciso y de la automatización de tareas que anteriormente generaban una demanda de trabajo pocas veces asumible de reelaboraciones en modelos 3D.

4. La Programación Gráfica de Algoritmos sirve de enlace entre el historial de cambios y modificaciones dentro del proceso de determinación de la forma en los

modeladores 3D y los lenguajes de programación que permiten el establecimiento de parámetros y el control de los cambios. La posibilidades morfo generativas de los programas CAD se ha potenciado al aproximar a los diseñadores a un lenguaje de programación dentro de las herramientas de trabajo como Editores Gráficos de Algoritmos y ha hecho que estas herramientas tengan una gran flexibilidad en el diseño paramétrico.

Programas como Grasshopper, Dynamo, Generative Components, Revit, Allplan, Ecotect Analysis o FreeCAD permiten establecer y controlar las relaciones geométrico-matemáticas de las superficies en un lenguaje gráfico de tipo dendrograma, dentro de parámetros que a su vez responden a los requerimientos y restricciones de diseño. La determinación de la forma a través de estas herramientas presenta saltos cualitativos en cuanto exige un planteamiento previo muy claro de las relaciones entre las partes y sus límites, en cuanto a la flexibilidad y capacidad de adaptación según cambien las condiciones de aplicación y finalmente en cuanto al intercambio de información y la colaboración interdisciplinaria en un lenguaje digital común.

5. Los modelos de Familias y Plataformas de Productos, son estrategias construidas como respuesta a la búsqueda de la eficiencia en todos los procesos de desarrollo de productos y al éxito de las empresas que depende de la evolución rápida y económica de sus líneas de productos. Se busca con estas estrategias adaptar el proceso de diseño y la morfo-generación a los avances tecnológicos, en lo que respecta a la disponibilidad de diversos modelos, tamaños y adaptaciones, y a la evolución/actualización de los productos.

Al mismo tiempo que son una respuesta a los procesos de evolución de la competencia en el mercado. La capacidad para lanzar diferentes productos con la misma base productiva (infraestructura técnica y tecnológica), los mismos componentes funcionales, los mismos procesos de manufactura, y dar espacio a la incorporación de cambios funcionales, de interacción o tecnológicos entre otros, sin rehacer todo el proceso de diseño y desarrollo, es lo que pretende la creación de plataformas de producto y en consecuencia las familias de productos. La morfo generación digital, el control paramétrico de requerimientos y restricciones, la programación gráfica de algoritmos y la proyección hacia la manufactura digital directa, permiten a los diseñadores crear las plataformas de productos y desarrollar las formas que se adaptan a las demandas sin perder unidad o identidad de marca.

6. El pensamiento de diseño, reconocido como un modelo de aproximación al conocimiento y como un método de acción creativa, se apoya en la interacción dialéctica dentro de la dualidad visual – conceptual y/o de reflexión – acción, que permite desarrollar un pensamiento integrador que logra una combinación y un balance sintético de todos los requerimientos. El pensamiento de diseño si bien tiene origen en las denominadas ciencias de lo artificial (Simon, 1969) ha extendido su aplicación en múltiples campos del conocimiento y la investigación, adaptándose como modelo cuando es necesario tener resultados creativos o directamente crear y construir dentro de los mismos procesos, lo cual promueve la participación colaborativa, la experimentación y un flujo de trabajo constante entre el análisis y la síntesis.

Para el diseño industrial y particularmente para la determinación de la forma el pensamiento de diseño es el modelo integrador que a través de la creación-construcción permite manifestar las ideas y conceptos equilibrando las demandas en un proceso experimental y flexible dentro de parámetros autoimpuestos.

7. La Personalización masiva como resultado de la gestión del ciclo de vida de los productos frente a los cambios dinámicos del mercado y la demanda de productos adaptados a los clientes de manera más rápida más barata y mejor -sin perdida de rentabilidad ni participación del mercado-, requiere de estrategias colaborativas, de tecnologías apropiadas y un diseño adecuado a esta nueva condición. Tanto las plataformas de productos como las familias de productos y el diseño modular permiten mantener una cartera de productos dinámica y actualizada que aprovecha en todas las etapas del desarrollo de productos las nuevas tecnologías de morfo generación, el diseño paramétrico y la manufactura digital directa, para asumir el cambio de identificadores de productos maduros en el mercado, la reutilización del conocimiento adquirido de los productos, la separación de procesos iterativos de los procesos generativos en el proceso de desarrollo y la actualización en tiempo real de la información con el uso de parámetros.

Las herramientas digitales y las estrategias orientadas a su aprovechamiento hacen posible la optimización del uso de recursos para entregar al mercado productos personalizados o de pequeños lotes sin que ello implique retrasos en la producción ni mayores sobre costos, sirviéndose así de la flexibilidad y adaptabilidad que desde la conceptualización y el diseño ellas facilitan.

La denominada Nueva Revolución Industrial dentro de esta era digital toma como base la evolución sinérgica entre los avances tecnológicos y sus consecuentes reacciones sociales, económicas y productivas frente a ellas, perfeccionando un movimiento continuo y acelerado de avances e incorporaciones.

De este modo se ha pasado del Diseño para la Manufactura (DFM) donde se encontraban los límites en los procesos de producción a la Fabricación del Diseño que empuja los límites de nuevas posibilidades productivas, con lo cual se hacen posibles una serie de fenómenos que anteriormente tenían altos costos o simplemente eran impracticables, como: La personalización en masa, ya sea con variaciones programadas que hacen productos únicos en cada pieza o en tirajes cortos para diferentes demandas y contextos. La producción localizada, evitando el transporte y la contaminación por el envío de mercancías, con micro plantas de producción que permiten adaptar los productos a demandas específicas y particulares, teniendo a disposición la información y los medios necesarios para entregar el producto terminado, de este modo recorre grandes distancias la información y no el producto, se almacena o esta dispuesta gran cantidad de información y no productos terminados y como consecuencia se transforma la venta al por menor. La percepción de productos únicos y exclusivos, mejorando el diseño para los requerimientos y deseos del usuario específico, sin que ello signifique mayores costos o demoras, con lo cual se genera mayor satisfacción y fidelidad de marca. Y por último un diseño abierto, dada la accesibilidad tanto al software de modelado paramétrico 3D y los ficheros libres de productos como a las máquinas de impresión 3D y los talleres de manufactura digital directa o FabLabs.

En esta era digital toda la capacidad de las nuevas tecnologías se esta proyectando fuera de las pantallas; este mundo digital hasta hace pocos años totalmente virtual, esta siendo traducido a objetos físicos reales: la transición pixel – voxel – partícula, esta al alcance de la mano. Lo que es digital pasa a ser físico de manera fácil y rápida, dotando a los nativos digitales de los medios para desarrollar artefactos y útiles, como una nueva generación de diseñadores con el software y el hardware necesario para ello. Nacen así espacios para el “hágalo usted mismo” (DIY) y los denominados Maker’s (constructores o fabricantes) que aprovechan sus habilidades y los archivos libres de productos que adaptan a sus necesidades o las de un mercado próximo por demanda.

Todo en esta Nueva Revolución Industrial ha exigido cambios y adaptaciones, tales como, las mejoras en los sistemas CAD y los modeladores paramétricos, que exigen a su vez mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento de las computadoras, la

capacidad y velocidad de transmisión de internet, el desarrollo técnico de las impresoras 3D más allá del prototipado rápido en lo cual las impresoras de código abierto han permitido un avance muy importante, las respuestas a la creciente digitalización de las actividades humanas y finalmente los procesos de producción en estructuras más dinámicas.

Naturalmente los modelos, herramientas y estrategias de diseño han debido adaptarse, evolucionar y desarrollarse paralelamente, sin embargo este proceso se va dando sobre la marcha y algunas veces con unos pocos pasos atrás cuando las condiciones son propicias o con una gran distancia entre etapas en la mayoría de los casos. Las competencias de los diseñadores y los dominios del diseño han de adaptarse ya no solo a la era digital sino a la nueva revolución industrial que esta en marcha y que exige desde la determinación de la forma una base sólida sobre la cual reivindicar el ejercicio del diseño industrial como experto fundamental en ello.

La consolidación del reconocimiento académico del diseño industrial que años atrás paso por el desarrollo de modelos de trabajo colaborativo, la investigación interdisciplinaria y el desarrollo teórico en temas como el pensamiento de diseño o la reflexión creativa, ahora ineludiblemente tiene que afrontar la morfo generación digital, la manufactura digital directa, el modelado paramétrico de plataformas de productos y las demandas de personalización. En cualquier caso, es especialmente importante formalizar la investigación en dominios propios como la determinación de la forma, o se mantendrá la tendencia de ser abordado por ingenieros de diseño, diseñadores de productos y Makers, si es que no desaparece.

6.3.2 Dominio del diseño en la nueva revolución industrial y la era digital.

Una disciplina como el Diseño Industrial claramente asociada a los procesos productivos y la permanente actualización tecnológica que ello conlleva, requiere de un marco teórico suficientemente definido sobre el cual se lleve a cabo una practica reconocible y delimitada frente a otros ejercicios complementarios dentro del desarrollo del entorno construido. Un marco teórico que se cambia según las perspectivas desde las que se aborde o que cambie según cambian otros o que se ve afectado por fenómenos provocados en otros ámbitos, poco ayuda a la consolidación del diseño industrial como ejercicio profesional y desorienta la práctica llevándola a adoptar roles que no le corresponden y en los que no es experto. Así ha sucedido cuando intenta adoptar modelos de investigación científica en su práctica o cuando incorpora herramientas de investigación social sin tener dominio de éstas, pero especialmente cuando no se tiene un objetivo anidado en sus

propios intereses y dominios como disciplina. En cambio un marco teórico que se fundamenta en los dominios, y en el que estos tienen la capacidad de evolucionar a partir de su propia investigación y práctica, tiene la suficiente flexibilidad para adaptarse, pero al mismo tiempo la solidez para crecer y relacionarse con otros sin perder identidad. Está claro que el desarrollo tecnológico ha transformado la manera de diseñar y por tanto el diseño debe evolucionar junto con la tecnología.

Los dominios del diseño, sean estos competencias profesionales, conocimientos expertos, experiencias prácticas o unidades teóricas, han evolucionado como herramientas conceptuales en respuesta a las exigencias de los entornos industriales, tecnológicos y sociales. Además lo han hecho conjuntamente con herramientas técnicas que permiten y facilitan la investigación y la experimentación, coadyuvando a la evolución misma de las posibilidades del diseño. De este modo, fenómenos tecnológicos han trascendido los modelos de trabajo en diseño afectando sus dominios y modelando el ejercicio del diseño; es así como la Manufactura Digital Directa elimina o disminuye las restricciones geométricas en la producción, lo cual libera la exploración formal llevándola a experimentar con los límites de la materia; el Diseño Paramétrico además de permitir introducir los rangos de diversas variables facilita el control en la creación de la forma; la Programación Gráfica de Algoritmos permite la visualización en tiempo real de los cambios y las posibilidades formales de una alternativa de diseño, el Desarrollo Generativo de las Formas permite el control dinámico de la exploración formal, creando al mismo tiempo la posibilidad de plataformas y familias de productos, y finalmente la Demanda de Personalización provocando cambios y adaptaciones progresivas o programadas en los productos.

Los dominios disciplinares del diseño como el pensamiento de diseño, la inteligencia visual o la síntesis creativa crean una conexión entre el mundo de las ideas y el mundo material a través de un proceso que conduce de la realidad presente a la realidad prevista mediante el uso de herramientas y modelos que manejan la información, generalmente bajo sistemas computacionales. Así producen alternativas de solución a los problemas planteados, acompañándolas de conocimientos adaptados al diseño como la ergonomía, el aseguramiento de la calidad, la gestión de procesos y la aplicación de normas y estándares, entre otros. Estos conocimientos se apoyan al mismo tiempo, en conocimientos de otras disciplinas como la sociología, la psicología o el mercadeo entre otros. En las diferentes estructuras propuestas -que dan cuenta de los dominios del diseño y sus relaciones disciplinares- es posible identificar, por una parte, los que se ocupan de la ciencia del diseño, su teoría e investigación, por otra aquellos estrictamente tecnológicos,

metodológicos y contextuales, y finalmente aquellos que hacen del diseño industrial una disciplina única, centrada en la determinación de la forma de los productos.

Los dominios de la Ciencia del Diseño como la filosofía del diseño (Política, ética, historia y ontología del diseño), la teoría del diseño (Semántica y sistematización) y el conocimiento de diseño (Epistemología, educación, inteligencia y externalización del diseño) responden al aspecto teórico e investigativo del diseño, y hacen posible una reflexión permanente tanto de su papel como disciplina como del desarrollo de modelos de trabajo que validen su práctica, siendo estos dominios parte de un marco general aplicable a otras disciplinas.

Los dominios Metodológicos (metodología, innovación, modelos, modelos técnicos, gestión y control) dan orden y regulan una práctica haciéndola más eficiente y capaz de abordar diferentes niveles de complejidad. Al mismo tiempo permiten a dichas prácticas adaptarse al desarrollo técnico y tecnológico, que cada disciplina desarrolla para su propia gestión. Los dominios Tecnológicos como la propia Tecnología (sistemas, software, hardware, lenguajes e informática), de los procesos (diseño, fabricación y relacionados) y de los artefactos (sistemas técnicos, principios y tipos de productos), hacen viable la transición de las ideas a los productos y dinamizan los procesos bajo un control ahora digital para la exploración y la experimentación.

Los dominios contextuales o de factores humanos (sociología, cognición, estética, ergonomía, mercadeo y etnografía) ubican la práctica del diseño en un tiempo y lugar proyectando al futuro sus posibilidades y realizaciones. El dominio de la aplicación del diseño o Síntesis del diseño (pensamiento de diseño, inteligencia visual, síntesis creativa) son los dominios fundamentales que caracterizan al diseño industrial, lo distingue de otras prácticas y enmarcan su campo de acción frente al desarrollo de productos y la ingeniería de diseño.



Figura 57 La determinación de la forma dentro de la ciencia del diseño.

La mayoría de los conocimientos necesarios para la determinación de la forma de los productos convergen desde diferentes disciplinas y por ello se consideran conocimientos de relación o interdisciplinarios. Otros son conocimientos adaptados al diseño que, si bien también son desarrollados por otras disciplinas, el diseño se ha encargado de adoptar, provocando una evolución particular. Por último, los conocimientos propios o disciplinares del diseño, sobre los cuales se hace posible la determinación de la forma de los productos, son lo que configura aquello que aquí denominamos *Metaforma*. La evidencia de la Metaforma como dominio fundamental del diseño industrial se halla en que al hacer esta división, en la que se separa a los otros dominios, éstos últimos podrían operar para otras prácticas creativas, dejando solamente modelos de procesos, conocimientos técnicos, elementos de comunicación y agentes contextuales. De allí el interés por la transición de la geometría de las formas a la morfo-generación en medios digitales y la caracterización de un dominio que abarque la complejidad de la determinación de la forma de los productos.

La consolidación de los dominios propios del diseño es al mismo tiempo una consecuencia del desarrollo tecnológico y la complejidad que ésta plantea, con una demanda cada vez más educada y desarrollada tecnológicamente, y un punto de partida para establecer una relación claramente definida con otras disciplinas alrededor del desarrollo de productos y del entorno construido en general. La capacidad de interacción de un dominio con otras disciplinas permite su propio desarrollo y define más claramente el

perfil de sus profesionales, de este modo la Metaforma como dominio del diseño perfila al diseñador dentro de un claro rol de síntesis y concatenación en el ejercicio del diseño y favorece la interacción disciplinar al desenvolverse en un lenguaje digital.

Un valor significativo de la Metaforma como dominio es su capacidad de evolución frente al desarrollo tecnológico, dado que surge desde las prácticas inmersas en los medios digitales y altamente tecnológicos, adoptando sus cualidades, especialmente su flexibilidad y su capacidad para vincular lo analógico con lo digital paralelamente a los modelos y métodos de trabajo.

Un ejercicio profesional como el diseño industrial asociado al desarrollo tecnológico no solamente en los medios y herramientas que usa para su desempeño, sino especialmente en el entorno de sus realizaciones y sus objetivos, debe estructurar sus dominios de tal modo que éstos puedan mediar entre las competencias aprendidas por los diseñadores y las demandas del contexto productivo, es decir que sus dominios tengan la capacidad de evolución frente al desarrollo tecnológico y mantengan actualizado el ejercicio de manera implícita en sus definiciones. La Metaforma como síntesis de la práctica del diseño conjuga las competencias de la determinación de la forma tanto con los medios para su definición y comunicación, como con los avances en cuanto a la transformación de las materias primas en piezas y productos terminados. Por tanto este concepto como dominio evoluciona y se adapta a los cambios tecnológicos de manera natural debido a que se basa en ellos mismos y se sirve del lenguaje de programación, los sistemas abiertos, las plataformas colaborativas y las metodologías de diseño robusto.

La Metaforma como dominio fundamental del diseño tiene:

1. Base en un lenguaje de programación. Que cada vez es más común a todas las disciplinas e imprescindible para el trabajo trans disciplinario.
2. Una conexión directa con todas las etapas de desarrollo del producto, desde su generación hasta su producción, lo cual introduce mejoras en el proceso de diseño y control sobre el mismo.
3. La capacidad y posibilidad de evolución de manera conjunta con el desarrollo tecnológico y productivo. Nuevas tecnologías y nuevos procesos productivos en la era digital colaboran en su evolución.
4. Apoyo en la matemática y la geometría que además de ser un lenguaje universal le otorga precisión y certeza.
5. La capacidad efectiva de exploración formal y morfo generación.

6. La capacidad de respuesta a los niveles de complejidad actuales y su evolución paralela en relación a los procesos de producción, la energía, los materiales, el contexto y los usuarios.
7. La capacidad evolutiva en saberes propios del diseño y mejoras en el desarrollo de competencias de los diseñadores.

El perfil disciplinario del diseñador apoyado en un dominio claramente definido otorga libertad y compromiso frente a otras disciplinas que de manera complementaria se articulan para el desarrollo de todo el entorno construido por el ser humano, pudiendo de este modo articular esfuerzos a través de la asunción de roles diferenciables y la interacción eficaz dentro de los procesos de diseño y desarrollo de nuevos productos. La capacidad de interacción del dominio con otras disciplinas se da no solo a nivel teórico definiendo sus alcances sino también en la práctica por medio de lenguajes comunes y el intercambio de información sobre plataformas compartidas en tiempo real donde los diferentes aspectos del proceso y las restricciones pueden ser intervenidas con la visualización colectiva. La Metaforma al desarrollarse esencialmente sobre herramientas digitales, elementos de programación, control de variables e indicadores paramétricos, facilita la interacción y participación de diversos expertos para el refinamiento del diseño con una visión amplia desde la creación hasta la materialización. De tal modo que la interacción de diferentes disciplinas en torno al desarrollo de productos es fluida y eficaz.

6.3.3 La Metaforma como síntesis del ejercicio de diseño.

Desde el marco general del Metaproyecto –plataforma que permite generar proyectos y establecer líneas de acción, cuyos objetivos son políticas y normativas, y una de las dimensiones de la ingeniería de proyectos que se ocupa de la correlación de los sistemas que intervienen en la resolución de un proyecto, gestionando y organizando la interdisciplinariedad– se deriva al concepto de *Metadiseño* o diseño del diseño. Éste se ocupa más de la construcción de entornos que de contenidos, en un nivel más allá de lo cultural o lo estético, apoyándose en un trabajo comunitario trans-disciplinar que aporta conocimiento colectivo y experiencia desde diversos roles. El *Metadiseño* define y crea infraestructuras sociales y técnicas para el diseño colaborativo sobre ambientes de programación, en donde el usuario hace parte del equipo de desarrollo y cuyo resultado es un código abierto, siempre dispuesto a cambios y que constituye la acción colectiva de “siembra”; esta “siembra” a su vez es el principio de la personalización masiva y el diseño generativo.

Lo cual nos conduce de nuevo a la Metaforma, que opera como arquitectura fundacional de una especie formal, recogiendo las intenciones de diseño y las restricciones en parámetros, que dentro de una estructura de algoritmos logra la concatenación de todos los diversos aspectos que impulsan el desarrollo de productos, especialmente desde la formación de plataformas y familias de productos. La Metaforma hace parte de esta estructura de conceptos que abordan el ejercicio del diseño desde perspectivas integradoras, claramente interdisciplinarias, abiertas al trabajo colectivo y apoyadas en el desarrollo tecnológico y los lenguajes digitales.

La Metaforma esta acompañada de la evolución del pensamiento de diseño, mediado por las herramientas digitales o el pensamiento de diseño digital y los nuevos paradigmas digitales. Al mismo tiempo presenta cambios en la lógica de la repetición (modularidad/fabricabilidad) y la conexión entre diseño y materialización desde las etapas conceptuales, de cara a un mundo cambiante, diverso y que evoluciona de una manera dinámica.

La Metaforma une las posibilidades morfo generativas, con los modelos de evaluación y análisis, con los procesos de manufactura digital, con las metodologías de diseño robusto y plataforma de productos y con las estrategias de identidad y marca, no como una alternativa de diseño sino como el futuro del diseño, que apoya como dominio el potencial de la morfo generación. Es necesario con base en la formulación teórica convencional del diseño, incorporar las nuevas prácticas, demandas y herramientas, dar un paso en la evolución del diseño y dejar de creer que el diseño digital es solo una manera de afrontarlo o una herramienta como cualquier otra. El pensamiento de diseño digital y sus implicaciones afectan de manera directa las estructuras teóricas y prácticas del diseño y por tanto es indispensable asumir su intromisión y permitir su empuje evolutivo en el diseño.

La definición de un concepto como la Metaforma surge desde la necesidad de identificar y describir los principios de diseño, los procesos, los marcos cognitivos y la naturaleza de los conocimientos de diseño, frente a las transformaciones provocadas por el desarrollo tecnológico y la inserción de la practica del diseño en los entornos digitales, con el propósito de proyectar la practica profesional del diseño al futuro dentro de las tecnologías digitales, apropiando el pensamiento de diseño digital. Aprovechando los modelos de acción – reflexión que en los medios digitales tienen un despliegue muy amplio y un gran potencial que abarca todas las etapas del proceso de diseño, logrando una perfecta integración con los entornos digitales y facilitando los nuevos roles del diseñador.

El carácter explícito de los procesos generativos por medios digitales deja atrás el modelo de un proceso cognitivo implícito apoyado en medios de comunicación como el papel o los modelos físicos; tanto la generación digital que difiere de la generación libre (dibujo o modelado) en que está unida a los requerimientos y restricciones, como la experiencia en la representación visual que construye la memoria experta y al mismo tiempo tiene base y evoluciona partir del uso del conocimiento específico de los dominios, sirven de apoyo técnico al desarrollo de la Metaforma.

La Metaforma como concepto se desarrolla en dos direcciones de una parte como manifestación sintética del proceso de diseño y por otro lado como proceso de pensamiento creativo para los diseñadores, ya que estimula su ejercicio sobre el dominio de la determinación de la forma. Es decir que de una parte ayuda y estimula el pensamiento de diseño, siendo una herramienta formativa basada en la experiencia, en la representación y en la visualización de las formas, generando experticia y una memoria visual experta, y de otra parte concatena el ejercicio del diseño al incorporar la multiplicidad de variables que afectan el desarrollo de los productos y especialmente la determinación de la forma en ellos. El diseñador al operar dentro de una lógica no determinista en el proceso de morfo generación con enlaces, comandos y operadores más que con una representación particular explícita, desarrolla procesos no deterministas en el diseño dentro de lo que se ha denominado *Pensamiento de Diseño Digital*, y por tanto logra en la Metaforma derivar libremente entre los múltiples requerimientos como límites establecidos y la exploración y experimentación en la determinación de la forma.

6.3.4 Relación disciplinaria

El diseño industrial es una disciplina integradora, no solamente por las manifestaciones de sus resultados en los que es evidente la participación de diferentes disciplinas sino por que promueve dicho trabajo interdisciplinario y la puesta en marcha de dinámicas de intercambio de ideas, conceptos y conocimientos desde diversas perspectivas. Del mismo modo la Metaforma es un concepto integrador, que además de unificar la comunicación en el lenguaje digital, conjuga efectivamente las posibilidades de trabajar en simultáneo con parámetros provenientes de requerimientos técnicos, físicos y productivos, y con las exigencias sociales e individuales, o las intenciones de diseño. Se trata de un dominio de conocimiento integrador, en la medida que al igual que la experiencia visual, genera una experticia y una memoria visual experta.

El ejercicio del dominio de la Metaforma genera y determina el perfil del diseñador que va de la observación reflexiva a la experimentación activa de manera iterativa, construyendo vías creativas y modelos de trabajo que integran conocimientos de diferentes disciplinas, definiendo también distintos perfiles de diseñadores con acentos en ciertos dominios, como “Constructores, Organizadores, Probadores o Exploradores” (Kolb & Kolb, 1984, p. 4), que alternan y conjugan la conceptualización abstracta, la experiencia concreta, la observación reflexiva y la experimentación activa.

La Metaforma promueve el impulso del diseño industrial a cruzar los límites disciplinarios sirviendo como dominio de enlace que opera indistintamente en diversas disciplinas, facilitando la comunicación bajo un mismo lenguaje, superando la barrera de comunicación que comúnmente ha dificultado la interacción disciplinaria de manera práctica y simultánea, permitiendo acciones múltiples, simultáneas y coordinadas en tiempo presente y siendo visible para todos.

Así, los requerimientos técnicos que tienen origen en la ingeniería, como son los materiales, los análisis estructurales de esfuerzos o los límites productivos, así como las condiciones sociales e individuales que se originan en los análisis sociológicos, psicológicos y de mercados, las demandas ambientales y de comercio que surgen de la gestión y administración de recursos más las intenciones de diseño que se originan en las estrategias de marca y en respuesta a la personalización, y la respuesta estética del diseñador como síntesis funcional del producto, se conjugan fluidamente a través de la Metaforma apoyados en la interacción disciplinaria. De tal modo que ingenieros de diseño, diseñadores industriales y desarrolladores de producto además de actuar colaborativamente, interactúan clara y fluidamente con profesionales de las diferentes áreas que pueden intervenir en el desarrollo de proyectos de diseño. Conectan los parámetros y las condiciones morfo generativas con el pensamiento divergente y la selección de las respuestas adecuadas bajo sus propios parámetros con el pensamiento convergente.

La Metaforma si bien corresponde en ciertas de sus características a las ciencias formales -en la medida que trabaja con objetos ideales creados a partir de la abstracción y que existen en la mente y los espacios virtuales en donde lo fundamental está en cómo se expresan- y que se comprueban por medio de proposiciones, definiciones y reglas de inferencia desarrolladas principalmente en un entorno digital, va más allá en cuanto su implementación y verificación, pasando a los modelos de las ciencias fácticas, de manera empírica en el mundo real, es decir se genera dentro de lo formal y se verifica en lo factico, y

aun cuando sus conclusiones logran un grado de certeza, los resultados suelen ser provisionales y susceptibles de evolución y mejora.

La Metaforma transita indistintamente entre los entes formales, ideales o conceptuales y el mundo de los hechos y realizaciones, apoyándose en una coherencia interna de un lado que busca una verdad contingente o material del otro .

6.3.5 Perspectivas de la Metaforma

Metodológicas.

Teniendo presente que la evolución del diseño se ve significativamente afectada por el desarrollo tecnológico y los cambios socio culturales más que por dinámicas propias, -lo cual afecta sus modelos y métodos, su marco conceptual, su practica y su enseñanza-, es necesario considerar su evolución y tales cambios a la luz de diferentes metodologías usadas en esta denominada era digital y cómo el concepto de Metaforma colabora en su adopción y fortalece las competencias en los dominios del diseño.

Las principales metodologías que relacionan el desarrollo tecnológico en cuanto a la manufactura digital directa, la programación grafica de algoritmos, la respuesta a la demanda de personalización masiva y el software de diseño paramétrico, son aquellas que esencialmente se han apoyado en los sistemas informáticos y permiten controlar el creciente flujo de información proveniente de la relación interdisciplinaria que enmarca el diseño y desarrollo de nuevos productos. Cuatro grandes grupos de metodologías y modelos se pueden identificar, a saber, el diseño paramétrico, el diseño robusto, las plataformas de productos y un grupo que recoge aquellas asociadas a metodologías para la estética, la innovación, la manufactura, el apoyo a los bocetos y la optimización de las formas.

Dentro de las metodologías para el diseño paramétrico encontramos, los sistemas para el diseño colaborativo, los sistemas de evaluación de la creatividad en productos y procesos de diseño paramétrico y los sistemas de evaluación de parámetros para la creatividad y la integración multidisciplinaria. Dentro de las metodologías para el diseño Robusto se encuentran, el método Taguchi con todas sus variantes y refinamientos específicos, el método modular robusto para familias de productos y los modelos de simulación de la robustez, y finalmente dentro de las metodologías para el diseño de plataformas de productos encontramos, el modelo de selección de conceptos para el diseño

flexible y el método de optimización de algoritmos genéticos para el diseño de familias de productos.

Todas estas metodologías se apoyan en sistemas digitales para el control de los flujos de información y el manejo de los parámetros asociados a las variables, con lo cual se alimentan los procesos de diseño sea cual sea el método o modelo utilizado. La Metaforma como arquitectura paramétrica viabiliza la transacción de las ideas y la información de manera fluida, permitiendo la interacción directa y simultanea de todos los agentes en el proceso de diseño, independientemente de los modelos y métodos utilizados, en un lenguaje común que admite el establecimiento de condiciones, requerimientos, limites, preferencias y proyecciones, que fluyen libremente bajo condiciones flexibles pero controladas de relaciones y parámetros.

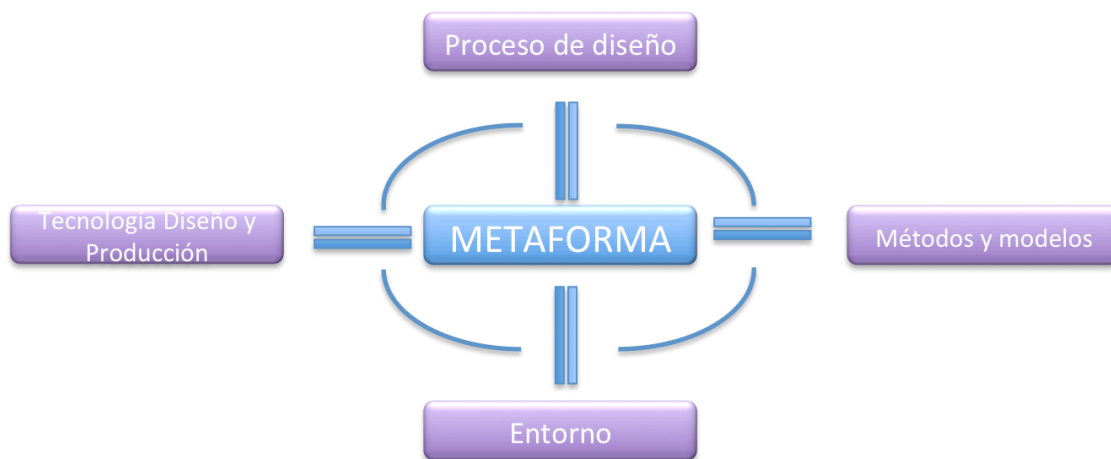


Figura 58 Flujo de información en torno a la Metaforma.

La Metaforma conecta de manera constante a nivel macro, el ejercicio del diseño a través de sus procesos con los diversos métodos y modelos de trabajo, según se adopten en un proyecto determinado, dentro de un entorno social, cultural y productivo con las tecnologías disponibles, tanto para los procesos de producción como con los medios para el desarrollo del diseño, cerrando así un circuito de relaciones interdependientes que permiten el ejercicio del dominio del diseño y la determinación de la forma en los productos.

Las cualidades de la Metaforma que se relacionan con los métodos se apoyan en las posibilidades que tiene, como:

- La capacidad de controlar los flujos de información
- El poder de concatenar bajo una misma estructura la diversidad de parámetros

- El control de parámetros de manera flexible (introducir nuevos parámetros. Variar los existentes, bloquear de manera diferenciada y eliminar temporalmente independientemente uno o muchos parámetros).
- El uso de parámetros como rangos, como datos o como elecciones binarias.
- Actuar libremente y en concordancia con cualquier método o estrategia de diseño.

En un nivel más profundo la Metaforma relaciona las demandas, condiciones y requerimientos surgidos desde diferentes ámbitos como los usuarios, el comercio o el sector productivo, con el establecimiento de parámetros, que son indispensables como marco de acción y límites de las alternativas viables, sean estas conceptuales o formales. Con las cuales a su vez se producirán las plataformas y familias de productos o los productos directamente, configurando un circuito creativo en donde los límites configuran las formas posibles.



Figura 59 Flujo de información en torno a la Metaforma en relación a las demandas, condiciones y requerimientos.

En este nivel la Metaforma proporciona recursos valiosos que promueven:

- La diversidad de conceptos
- La simplificación de requerimientos en parámetros
- Los espacios creativos regidos por marcos de viabilidad
- La sincronía con los procesos productivos
- Trascender el desarrollo de modelos únicos de producto
- La previsión del futuro de las líneas de productos

En relación directa a la determinación de la forma dentro del proceso de diseño y gracias a diversas herramientas que rentabilizan el uso de los medios digitales -previendo buena parte de las situaciones reales de uso-, la Metaforma relaciona los procesos de morfo

generación en etapas de exploración formal y experimentación funcional con los análisis sobre las posibilidades productivas de la forma considerando las restricciones tecnológicas y las comprobaciones materiales / estructurales de los modelos desarrollados, propiciando de esta manera un circuito continuo de exploración – experimentación – comprobación y una verdadera posibilidad de adecuación y personalización de acuerdo a la demanda.

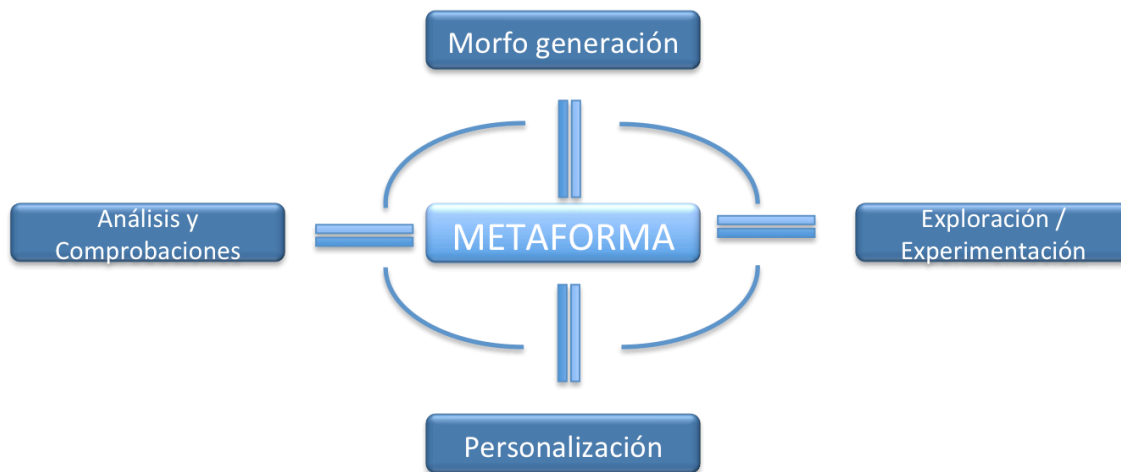


Figura 60 Flujo de información en torno a la Metaforma en relación a la morfo generación y la experimentación.

En cuanto a la morfo generación y la determinación de la forma en diseño, la Metaforma permite y promueve:

- La generación de formas bajo control geométrico, matemático y topológico.
- La experimentación formal con mutaciones y generaciones (analogía biológica)
- La construcción de especies formales
- La adaptación formal a demandas específicas
- La verificación estructural, material, de elementos finitos y otras de acuerdo a las necesidades según la forma.
- El establecimiento de patrones formales para el desarrollo de plataformas de productos.

La Metaforma es un concepto que no interviene como etapa o parte de un modelo metodológico, ni se adhiere a él paralelamente. Tampoco es un modelo propiamente dicho. Actúa en cambio como soporte y arquitectura en la implementación de cualquier modelo, corresponde más a una visión de conjunto fáctica dentro de los medios digitales que corresponden y son indispensables a la complejidad actual del diseño.

Metodologías como el Diseño Robusto pretenden la optimización de todos los procesos, desde el desarrollo conceptual hasta el control de la producción y el adecuado manejo de los residuos tanto de producción como del producto mismo cuando entra en desuso. Todo ello se apoya en información veraz y oportuna que fluye libremente entre todos los niveles, de principio a fin, fundamentalmente en sistemas digitales que vigilan y controlan el proceso. Es por esto que estructuras de desarrollo como la del Diseño Robusto son adecuadas para la adopción del concepto de *Metaforma*, pues coinciden en el lenguaje digital, acompañando el proceso de desarrollo del diseño desde etapas tempranas y debido a la suficiente flexibilidad para la experimentación y la adaptación, ya que tiene la capacidad de controlar los parámetros y garantizar las posibilidades reales de producción con un alto nivel de optimización.

Del mismo modo estrategias como el desarrollo de Plataformas de Productos tienen como condición indispensable, el control de las familias de productos bajo sistemas paramétricos que permitan adaptar los principios funcionales y técnicos a la identidad de marca e intenciones de diseño acordadas con los estudios de mercado. La Metaforma permite desarrollar transformaciones y mutaciones en la morfogeneración, creando especies formales y generaciones en una analogía biológica, que proporciona una variedad infinita pero controlada de variantes y adaptaciones según las demandas de personalización o adecuación a entornos específicos más allá de las que pueden darse por el desarrollo tecnológico en los productos.

Muchas otras metodologías y estrategias de trabajo pueden adoptarse desde el concepto de *Metaforma* ya que éste permite el desarrollo conjunto de la forma e integra todas las variables condicionantes del diseño sin limitar las posibilidades expresivas. Ni la exploración formal que en algún momento se cree pueden coartar los medios digitales. Ahora bien además de ayudar a tener un proceso de diseño claro, ordenado, creativo, con límites precisos y con garantía en sus posibilidades de producción, la Metaforma no abandona ni niega otras formas de trabajo analógicas, por el contrario de principio son indispensables conocimientos matemáticos, especialmente geométricos y habilidades tanto de pensamiento creativo como de construcción formal, topológica y expresiva, que pueden nacer en los dibujos y bocetos hechos a mano, que luego serán reproducidos dentro de un sistema paramétrico.

Otro aspecto metodológico fundamental de la Metaforma tiene que ver con la creciente complejidad del desarrollo de nuevos productos, en la medida que ellos responden a los avances tecnológicos y las demandas cada vez más específicas y variadas del

mercado, a la incorporación de nuevos materiales con propiedades antes imposibles de considerar, a procesos de producción que liberan las restricciones geométricas y formales sin detrimento de las cualidades o calidades del producto, a las diversas dinámicas sociales que involucran el diseño convirtiéndose en elemento fundamental dentro de los procesos, y de fenómenos como el “hágalo usted mismo”, la deslocalización de la producción y la oferta de modelos y productos de código abierto para ajustar y producir a medida, entre muchos otros aspectos. Todos ellos redundando en un espectro ampliado de condiciones en donde tal complejidad debe ser acometida con flexibilidad y particularmente permitiendo la experimentación y la introducción de las intenciones de diseño como marca personal del diseñador o como identidad de marca. El concepto de Metaforma permite metodológicamente confluir, desde una visión del diseño, toda la complejidad que demanda la determinación de la forma y el diseño de los productos.

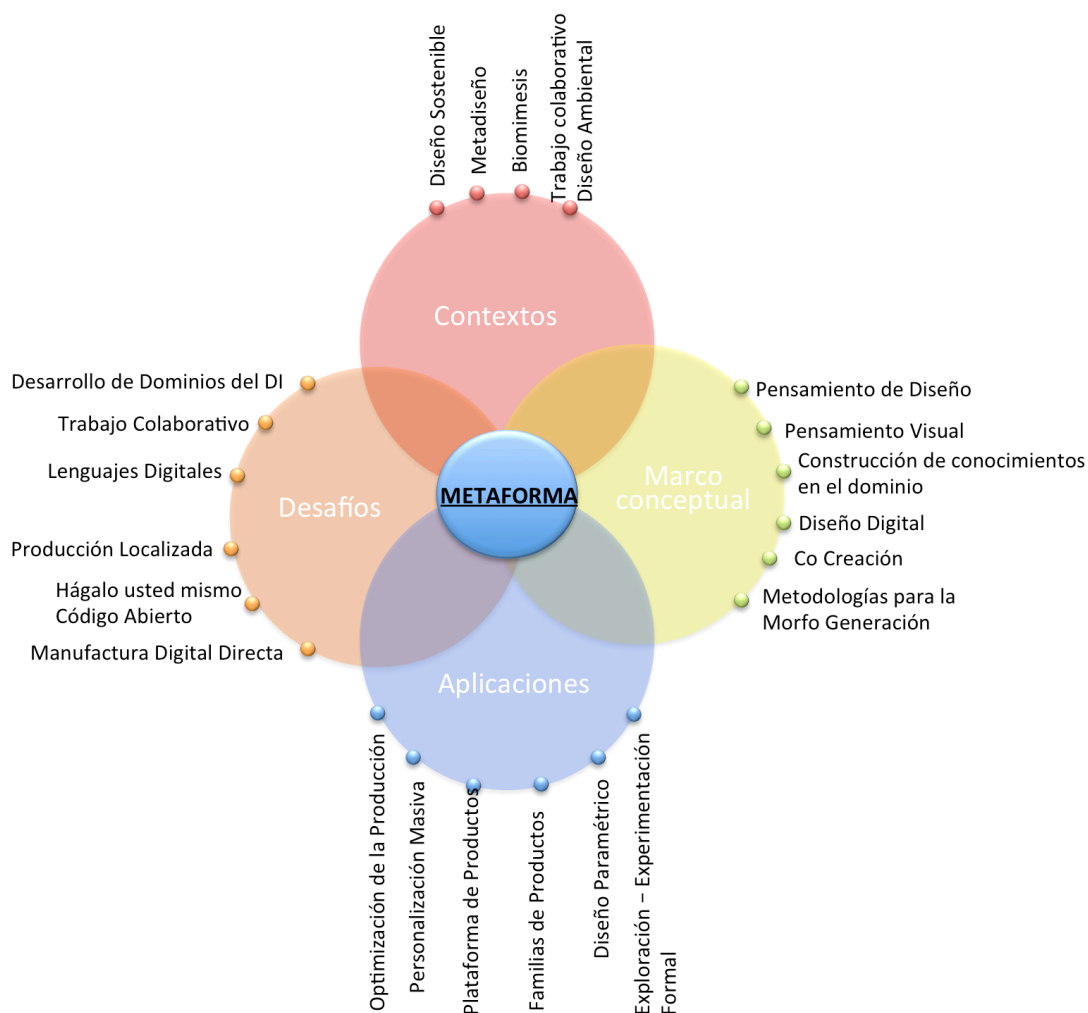


Figura 61 Interrelación de la Metaforma con: Marcos conceptuales, Aplicaciones, Contextos y los Desafíos que plantea.

Niveles de Meta forma	Descripción del nivel	Problema	Dimensiones	Métodos y técnicas	
Nivel discursivo de la Metaforma	Articulación global de métodos, procesos, modelos y medios técnicos para la estructuración de estrategias de acción en diseño en la determinación de la forma.	Previsión: Necesidades y tareas	Epistemológico / Estratégico	Tácticas de Metadiseño. Modelos concurrentes. Ingeniería inversa.	Ambiente ESTRUCTURAL
Nivel de Integración de Metaforma	Establecimiento de estructuras paramétricas para las alternativas y las Plataformas / Familias de productos	Participación e interacción de diferentes Colectivos. Establecimiento de Requerimientos, parámetros. Mercados	Cognitivo / Social	Diseño participativo. DFM. Ingeniería concurrente	
Nivel Creativo de la Metaforma	Procesos de Morfo generación, exploración y experimentación. Análisis y Comprobaciones.	Dimensiones sociales, técnicas y creativas tienen que integrarse para optimizar los resultados y promover nuevas interacciones	Cognitivo / Técnico / Estético	Pensamiento de diseño. Diseño Robusto. Diseño Paramétrico. CAD – CAS	Ambiente PRODUCTIVO

Cuadro 16 Niveles de la Metaforma.

El Metadiseño responde a un cambio de paradigma y la Metaforma responde a un cambio de perspectiva en los dominios del diseño o a un acento particular de los dominios.

Técnicas

La Metaforma como concepto surge a partir de la progresiva aparición de nuevos modelos de trabajo, herramientas y fenómenos sociales, relacionados con el desarrollo tecnológico y las respuestas frente a su incorporación en el desempeño profesional y el ejercicio del diseño, y se apoya directamente en las herramientas digitales que permiten dar respuesta a la complejidad creciente del desarrollo de productos en cuanto a la determinación de la forma, los procesos productivos y la flexibilidad para adaptarse a las demandas. Aunque es posible considerar la Metaforma al margen del entorno tecnológico digital, no tendría una practica eficiente fuera de él, pasando a ser meramente un descriptor y no un concepto integrador como dominio, que potencia la practica actual del diseño.

Dentro de una practica desde la perspectiva de la Metaforma se admiten y conjugan herramientas de modelado 3D y programación grafica con algoritmos como BIM³⁷, Rhino –

³⁷ BIM Building Information Modeling desarrollado por National Building Specifications propiedad del Royal Institute of British Architects, RIBA.

Grasshopper³⁸, Dynamo³⁹, ArchiCAD⁴⁰, Allplan⁴¹ o Revit⁴², con herramientas de análisis y evaluación cinemática, de materiales, estructurales y operacionales, que a su vez se relacionan con las herramientas de programación de producción, análisis de costos y procesos de distribución (y otras que provienen de prácticas de las ciencias sociales, los factores humanos y lógicas de mercadeo). Todo esto configura un conglomerado técnico digital que pone en contacto todas las variables y sus restricciones, en relaciones de interdependencia que pueden ser controladas en función de unos objetivos de diseño y que finalmente determina las cualidades formales de un producto o familia de productos.

Este ámbito técnico digital exige a los diseñadores, dentro de los equipos de trabajo que desarrollan el entorno y los productos, conectarse y transmitir la información de manera eficiente y precisa, de tal modo que desde sus contribuciones se comprenda el lenguaje e incorpore cada una de las cualidades pretendidas, para evolucionar colaborativamente en el diseño de soluciones. El lenguaje digital cumple eficazmente gran parte de las exigencias de la construcción de la *Metaforma*, dado que aporta control a partir de una programación cada vez más accesible a los diseñadores –mediante gráficos e interfaces más amigables– y aporta flexibilidad al incorporar algoritmos de base que pueden ser ajustados tanto en sus variables como en sus condiciones y rangos. Por último, implica la precisión propia de los entornos matemáticos junto con las enormes capacidades de computo de los ordenadores.

Paralelamente, el desarrollo de los sistemas de prototipado rápido que derivaron en la aparición de numerosas tecnologías de Manufactura Digital Directa, continúan evolucionando para aproximarse a los niveles de rapidez de producción y calidad estructural de los procesos de transformación tradicionales, e incorporan nuevas posibilidades que prácticamente eliminan las restricciones geométricas y, muy especialmente, hacen posible la complejidad de la forma, algo que anteriormente era considerado imposible o extremadamente costoso. Los sistemas de Manufactura Digital Directa permiten la producción de prácticamente cualquier forma en un importante número de materiales (plásticos, metálicos, cerámicos, etc.), con lo cual se hace viable el desarrollo de la *Metaforma* en tanto proporciona los medios para su realización física, completando un proceso de evolución que va desde el boceto o esquema dibujado a mano, pasando por el pixel en una representación digital, el voxel en el espacio tridimensional y finalmente hasta el átomo como pieza física.

³⁸ Rhino - Grasshopper desarrollado por el grupo Robert McNeel y David Rutten

³⁹ Dynamo de Autodesk.

⁴⁰ ArchiCAD anteriormente de Graphisoft y recientemente comprado por Nemetschek

⁴¹ AllPlan desarrollado por Nemetschek

⁴² Revit de Autodesk

Esta posibilidad de abordar el proceso de desarrollo de la determinación de la forma de los productos sin las limitaciones y restricciones que imponían los procesos de transformación de los materiales y los procesos de producción, pone finalmente en manos de los equipos de trabajo y los diseñadores la posibilidad de explorar y experimentar sobre la forma prácticamente sin límites y es allí donde el concepto de Metaforma cobra uno de sus principales valores, ya que abarca de manera conjunta de principio a fin la determinación de la forma para el cumplimiento de los objetivos de diseño.

Otros fenómenos alrededor del diseño de los productos dentro del entorno digital refuerzan la idea de la adopción del concepto de Metaforma como dominio del diseño y como ejercicio disciplinar que más allá de concatenar las determinantes de un producto y establecer una forma única, explota significativamente las posibilidades tecnológicas y favorece una creación flexible, adaptable y próxima tanto a expertos como no expertos.

Dentro de estos fenómenos se encuentran el Código Abierto (Open Source), que como su nombre indica está expuesto a ser transformado, perfeccionado y adaptado según corresponda a intereses particulares; los Repositorios de Modelos Digitales, sean o no de código abierto, en donde diseñadores y no diseñadores colocan sus creaciones para ser adoptadas y producidas a demanda –o incluso autónomamente–, generando un intercambio de mejoras y adaptaciones propios de la flexibilidad posible de la Metaforma; los FabLab's, en donde además de experimentar con los nuevos procesos de producción es posible producir piezas por encargo o construir diseños enviados por medios digitales, eliminando así el envío de mercancías, sustituyéndolo por el envío de archivos digitales, para ser producidos localmente. Finalmente, los Entornos Colaborativos en Línea, que permiten el desarrollo conjunto en tiempo real bajo un esquema concurrente de piezas, componentes o productos completos con especificaciones variables y capacidades productivas diferentes.

Del mismo modo las interfaces de trabajo con la programación gráfica de algoritmos, los archivos CAD paramétricos, la visualización 3D y realidad virtual, junto con la creciente alfabetización en lenguajes de programación y el uso de la realidad virtual o aumentada, promueven la exploración formal dentro de los límites de lo factible y especialmente sin perder la intromisión de la expresión estética y plástica de los diseñadores desde sus intenciones de diseño, estilos o identidades de marca.

Está claro que todos estos instrumentos técnicos son herramientas y medios para la creación y que los resultados dependerán de las decisiones del diseñador y de los equipos

de trabajo. Ninguna herramienta, incluso las más poderosa, y aunque pueda generar infinidad de soluciones viables, podrá incorporar criterios humanos particulares, contruidos a partir del pensamiento de diseño, la inteligencia visual, la experiencia, el gusto, el deseo o la intención. Queda patente, finalmente, que todas estas herramientas son válidas en la medida en que exista suficiente claridad conceptual acerca de los alcances de la experimentación, que haya un verdadero control de las variables y un claro desarrollo de los algoritmos que las conducen.

Productivas

La era digital ha revolucionado prácticamente todos los ámbitos del entorno humano y se considera la tercera revolución industrial. Si estimamos la mecanización y la producción en serie como la primera revolución y las tecnologías de la información, la automatización e internet como la segunda, esta tercera revolución industrial esta directamente relacionada con el internet de las cosas, la manufactura digital directa y la aplicación de la tecnología digital a la vida diaria.

La transición desde los modelos de transformación de materias primas y procesos de producción por sustracción de material o por adición de componentes, hacia los procesos digitales integrados que van de la planeación, el diseño, y la misma producción hasta su uso, interacción y desuso, se ha dado de manera acelerada en las ultimas 3 o 4 décadas. Esta transición aun se encuentra en sus primeras etapas, considerando el potencial transformador que implica reemplazar los modelos existentes, pero especialmente por las nuevas posibilidades que genera al replantear de fondo los modelos de producción y al extender esta capacidad a pequeñas instalaciones e incluso a los individuos.

La evolución paralela de programas y equipos que facilitan el desarrollo de propuestas de diseño al mismo tiempo que ha profundizado en la especialización de las competencias de los diseñadores, ha ampliado la diversidad de posibilidades o alternativas de solución a un mismo problema bajo el control directo de las variables. De este modo los programas informáticos que antes permitían modelar los artefactos con lujo de detalles han pasado a permitir programar con flexibilidad las variables que determinan la forma, conectados a fuentes de información que recoge tanto las incidencias del entorno y los usuarios con sus demandas, como las posibilidades técnicas de producción para una capacidad industrial determinada sea esta íntegramente digital o no.

El acompañamiento de estos nuevos modeladores/programadores paramétricos con impresoras 3D es el vínculo básico que ha conectado las ideas y las imágenes mentales a la realidad física. Ha convertido a éstas en objetos palpables por medio de los cuales es posible hacer ajustes, comprobaciones y experimentaciones frente a su uso previsto, a través de un sistema de producción muy cercano en cuanto a su operación, que es capaz de llevar estas ideas a piezas, componentes y productos terminados. La Manufactura Digital Directa de una parte da continuidad enlazando todos los procesos omitiendo las pérdidas que ocasionan las transiciones de un paso a otro entre las ideas y los productos, ampliando las posibilidades de mejoras en pequeñas series, introduciendo variaciones constantes como objetos únicos, creando generaciones y familias de productos o con adaptaciones por demanda, y de otra parte exige una coordinación global de proyecto, en donde el concepto de Metaforma articula la gestión de la información y el flujo de la misma información en los procesos desde la formulación hasta la determinación de la forma y su consecuente producción.

La Metaforma logra una correspondencia profunda con unas de las prácticas más consistentes dentro del diseño actual y particularmente dentro del interés empresarial, que son: el desarrollo de Plataformas de Productos y sus estrategias de Familias de Productos. Las bases conceptuales desde las que se puede abordar la estructura de una plataforma de productos, a través de la *Metaforma*, están relacionadas con el establecimiento de variables que coinciden con las políticas y la filosofía de empresa, que transformadas bien en parámetros, bien en guías de las intenciones de diseño, conducen la producción de especies formales que dan a su vez origen a las familias de productos.

La articulación de la Manufactura Digital Directa y la Metaforma permite reproducir la identidad de marca dentro de las familias de productos y por tanto tener una amplia variedad que se adapta a diferentes demandas, usos y entornos, sin tener que reconstruir ninguna parte del producto sino solamente hacer los ajustes dentro de los parámetros y las variables manteniendo la libertad de exploración formal dentro de los límites previstos. De este modo se puede tener incluso diferentes niveles de complejidad de un mismo producto, tener “inventarios digitales” de productos discontinuados o de diversas series y recuperar rasgos característicos de unos y otros.

Por último, en la construcción de la Metaforma pueden tenerse en cuenta las consideraciones a una capacidad tecnológica instalada y adaptarla a diferentes niveles, según corresponda a la disponibilidad del lugar en donde se pretenda reproducir el producto. Con lo cual se da respuesta a la deslocalización de la producción, reduciendo a su vez los

costos e impacto del transporte -ya que se envían archivos digitales y no productos terminados-, entre otras ventajas, haciéndola más eficiente en cuanto a la producción por demanda y no por volúmenes estimados de consumo, y proveyéndola de piezas de recambio (consumibles) o repuestos y partes de actualizaciones. Otras muchas ventajas se podrán identificar a medida que la incorporación del concepto de *Metaforma* en las prácticas habituales del diseño y desarrollo de productos se haga más fuerte.

Investigativas

A partir de la propuesta de un nuevo concepto como la Metaforma se abren múltiples dimensiones desde las cuales abordar el ejercicio de la determinación de la forma, tanto desde la perspectiva teórica o metodológica como desde la practica y la enseñanza, y por tanto diversas líneas de investigación que indaguen sobre los alcances, aplicaciones, aciertos y mejoras posibles, tanto en su definición como en su aplicación e implementación.

Si bien se establece la Metaforma como un dominio propio del diseño, su carácter integrador demanda abordar su estudio desde múltiples visiones, con lo cual se promueve una investigación multidisciplinar y una interacción permanente que reporta positivamente avances en las distintas disciplinas que intervienen, fortaleciendo relaciones disciplinarias alrededor de la determinación de la forma en los productos de diseño.

Tal como se considera el cambio de paradigma al presentar el concepto de Metadiseño, la Metaforma plantea un cambio en el dominio fundamental del diseño, colocándola como eje articulador de todos los esfuerzos para el desarrollo de nuevos productos desde las diferentes disciplinas implicadas. Este cambio en el dominio, que ha incidido en la practica a través de pequeños ajustes y variaciones, implica la necesidad de abordar teóricamente y metodológicamente su encaje dentro del marco conceptual del diseño y con ello la investigación que pueda refrendar su validez, ampliar sus alcances y ser ponderado desde diferentes disciplinas.

Estrategias y modelos como la co-creación, el diseño concurrente o el diseño participativo, entre otros, cobran una vigencia renovada al relacionarse con el concepto de Metaforma, al sintetizarse en ella algunas prácticas con mayor o menor grado de desarrollo, que ahora pueden relacionarse directamente con las nuevas tecnologías, las herramientas digitales de trabajo y las exigencias de la manufactura digital directa y las demandas de personalización del mercado, produciendo así nuevos conocimientos y abriendo campos de investigación propios de la era digital en la cual ahora se desarrollan.

La Metaforma además de tener una correspondencia con el Pensamiento de diseño al potenciar facultades paralelas a la lógica y hacer accesible la complejidad bajo el establecimiento y control de parámetros, tiene una correspondencia con las ideas de Síntesis creativa y de Experimentación activa, al permitir la exploración – experimentación de las formas dentro de procesos creativos paralelos a la investigación desde una múltiple perspectiva de viabilidad, factibilidad y adaptabilidad. Las relaciones tanto con el pensamiento de diseño y la síntesis creativa como con la experimentación activa, orientan nuevos rumbos en la investigación en diseño, dado que como concepto integrador y dominio en el desarrollo de productos proporciona una base sobre la cual interactúan y a partir de la cual se desprenden diversos protocolos de actuación, que merecen ser analizadas y evaluadas.

Desde modelos prácticos como la experimentación activa o el aprendizaje experiencial es posible abordar la investigación de la Metaforma al compartir procesos de pensamiento divergentes, convergentes, de asimilación y de acomodación, en donde tienen espacio las experiencias concretas, la observación reflexiva y la conceptualización abstracta, que hacen posible la construcción de la arquitectura paramétrica fundacional de la forma y son al mismo tiempo posibles líneas de investigación.

El planteamiento de un nuevo concepto si bien refleja la síntesis de relaciones de una serie de fenómenos y como en el caso de la Metaforma una serie de prácticas, también promueve la exploración a su alrededor, encontrando desde diferentes visiones, nuevas relaciones, incidencias y afectaciones que dan pie a su consolidación y a diversas líneas de investigación.

7 CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación ha significado sumergirse en el extraordinario universo de la exploración formal desde el pequeño rincón que representa el diseño industrial y a partir de solo dos aspectos, la materialidad y los modelos de trabajo, descubrir el valor del dominio de la forma, reconocer el enorme interés que suscita en los investigadores, y exponer la posibilidad de concentrar en un concepto, el dominio de conocimiento del diseño industrial que surge de la practica y que denomino Metaforma.

Estas conclusiones se presentan desde dos perspectivas. Una desde el proceso de investigación realizado y sus hallazgos y otra desde la contribución conceptual de la Metaforma a la practica y la investigación en diseño.

Desde la investigación.

La determinación de la forma se constituye actualmente en un área de investigación muy importante, dado el reconocimiento como eje fundamental en la practica del diseño, y como consecuencia de ello la gran cantidad de estudios tanto desde su proceso de creación, como desde su interacción con otros aspectos del diseño.

La exploración formal y la determinación de la forma de los productos exige la coordinación del trabajo de todos los profesionales y colaboradores, bajo un lenguaje común y accesible para poder ser eficaz.

El desarrollo de las herramientas digitales (hardware y software) ha permitido abordar la complejidad de los problemas de diseño y particularmente la exploración y la experimentación de la forma bajo condiciones de seguimiento y control.

Se ha hecho fundamental generar los métodos y modelos de trabajo en diseño industrial que permitan una evolución simultanea con el desarrollo tecnológico, dado que de otra manera perdería su capacidad de respuesta a las demandas profesionales. Por lo tanto la formación en diseño debe abordar la evolución de los modelos de trabajo y su correspondencia con el entorno tecnológico.

El desarrollo de modelos y métodos del trabajo en diseño responde a las

transformaciones introducidas por la evolución tecnológica y las transformaciones sociales en relación a las demandas, de manera efectiva, apoyándose también en herramientas digitales que facilitan su interacción con los demás aspectos del proceso.

Las competencias de los diseñadores y los dominios de conocimiento en diseño se enmarcan con mayor claridad a partir del reconocimiento de las etapas del proceso y de la interacción práctica con las otras disciplinas en el ejercicio profesional, particularmente al asumir la determinación de la forma como eje central de interacción disciplinar.

Tanto la evolución tecnológica como los fenómenos sociales y los cambios culturales en respuesta a ella, demandan reacciones de las disciplinas y las prácticas profesionales, por lo cual el diseño industrial intenta identificar y fortalecer aquellos dominios que le son propios y le permiten adaptarse.

La investigación en diseño tiende a orientar sus esfuerzos en el desarrollo conceptual propio, aunque sea una disciplina de carácter integrador, y de sus propios dominios, para consolidar su espacio dentro del desarrollo de productos y hacer más eficaz su ejercicio interdisciplinario.

De la Metaforma

En esta era digital los cambios son cada vez más rápidos tanto en las tecnologías como en los entornos e impactan significativamente un ejercicio multidisciplinario como es el diseño, haciendo que reconsidere y reafirme su objeto de estudio y sus dominios con mayor celeridad.

La evolución de la práctica del diseño y de la determinación de la forma en los productos se han visto marcadas por los cambios del entorno tecnológico, productivo y económico, que son reflejo de las condiciones sociales, políticas y culturales, por tanto se pueden identificar en su historia ciertos rasgos en paralelo a ellas.

El desarrollo del entorno productivo apoyado en la tecnología ha permitido una rápida evolución de modelos de Manufactura Digital Directa, los modelos CAS – CAD – CAM (estética, diseño y manufactura asistida), la Programación Gráfica dentro del Diseño Paramétrico y los modelos Morfo Generativos, que necesariamente afectan los modos de abordar los problemas de diseño y establecen nuevas características en su marco de

trabajo. La perspectiva que introduce el concepto de Metaforma facilita la adaptación a los modelos productivos y su propia evolución.

La Metaforma como dominio del diseño en la nueva revolución industrial siembra las bases de las relaciones disciplinarias bajo el lenguaje de la era digital, consolida el concurso del diseño en el desarrollo material del entorno humano y potencia la investigación en un dominio propio.

Considerando la forma como el dominio fundamental del diseño, los demás aspectos que asisten al desarrollo de un producto son útiles en la medida que contribuyen a la determinación de la forma, porque solo a través de ella se expresa la síntesis de todas estas contribuciones, haciendo manifiesta su complejidad.

De acuerdo a los cambios al rededor del dominio de la determinación de la forma es necesaria una adaptación que establezca claramente las relaciones con otras disciplinas y fortalezca su dominio dentro del diseño. La Metaforma permite una relación eficiente entre los diferentes dominios disciplinares y una especialización más profunda del diseño.

La Metaforma da cuerpo a todos aquellos esfuerzos aislados que han empujado la evolución del diseño y plantea un modelo de trabajo, integrando las capacidades generativas de los medios digitales, las capacidades productivas en la manufactura digital directa y la programación de algoritmos, dando de este modo respuesta a la personalización masiva, la producción localizada y al diseño participativo o de origen abierto.

El desarrollo de la morfogénesis digital es uno de los medios para el establecimiento de la Metaforma, la cual con el uso de parámetros dota de elementos contrastables y argumentos concretos a la creación, incluso las intensiones de diseño. Será entonces cuando las ciencias tengan una manifestación solida y verificable en una producción artística como lo es el diseño de productos en un entorno industrial.

La Metaforma es un concepto necesario para identificar un dominio que se da en la practica cada vez con mayor relevancia, de manera más evidente y con las complejidades que el diseño y el diseño de productos implica.

La Metaforma actualiza el diseño desde la perspectiva conceptual a la era digital y facilita delimitar su papel dentro del desarrollo de productos, cohesionando el pensamiento

de diseño, la inteligencia visual, la conceptualización abstracta, la experimentación activa, la experiencia concreta y la observación reflexiva, con lo cual se reactiva el flujo entre los conocimientos y capacidad de diseñar.

Un concepto integrador como la Metaforma permite estudiar las relaciones disciplinares con mayor claridad y facilita el trabajo interdisciplinar coordinado.

La Metaforma al integrarse en un lenguaje digital da soporte a las relaciones disciplinarias para un intercambio concurrente alrededor de la determinación de la forma y permite operar indistintamente con y entre diferentes disciplinas, por tanto trasciende las disciplinas y facilita cruzar los límites disciplinarios.

Finalmente el concepto de Metaforma permite la investigación integrada con diferentes disciplinas a partir de un dominio propio del diseño y abre un nuevo y gran espacio para la investigación en diseño, si bien no es una transformación teórica, ni un complejo modelo metodológico, es un concepto que refleja una práctica presente que se proyecta hacia el futuro.

Este primer paso más atrevido que consciente busca movilizar la crítica y especialmente la construcción de nuevos espacios de investigación alrededor de los dominios del diseño.

CONCLUSIONS

The development of this research has meant immersing itself in the extraordinary universe of formal exploration from the small corner representing industrial design and from only two aspects, materiality and working models, discover the value of the domain of form, recognize The enormous interest that it arouses in the investigators, and to expose the possibility of concentrating in a concept, the domain of knowledge of the industrial design that arises from the practice and that I call Metaforma.

These conclusions are presented from two perspectives. One from the research process carried out and its findings and another from the conceptual contribution of the Metaform to the practice and research in design.

From the research.

The shape determination is currently a very important area of research, given the recognition as a fundamental axis in the design practice, and as a consequence of the large number of studies both from its creation process and from its interaction with Other aspects of design.

The formal exploration and determination of the form of the products requires the coordination of the work of all the professionals and collaborators, in a common language and accessible to be effective.

The development of digital tools (hardware and software) has allowed us to address the complexity of design problems and particularly the exploration and experimentation of form under conditions of monitoring and control.

It has become essential to generate the methods and models of work in industrial design that allow a simultaneous evolution with technological development, since otherwise it would lose its ability to respond to professional demands. Therefore, training in design must address the evolution of work models and their correspondence with the technological environment.

The development of models and methods of work in design responds to the transformations introduced by technological evolution and social transformations in relation to demands, effectively, also using digital tools that facilitate their interaction with other aspects of the process.

The competencies of the designers and the domains of knowledge in design are framed more clearly from the recognition of the stages of the process and of the practical interaction with the other disciplines in the professional practice, particularly when assuming the determination of the axis Central of disciplinary interaction.

Both technological evolution and social phenomena and cultural changes in response to it, demand reactions from disciplines and professional practices, which is why industrial design tries to identify and strengthen those domains that are its own and allow it to adapt.

Research in design tends to focus its efforts on its own conceptual development, even if it is an integrative discipline, and its own domains, to consolidate its space within product development and to make its interdisciplinary exercise more effective.

From Metaforma

In this digital age, changes are increasingly rapid in both technologies and environments and significantly impact a multidisciplinary exercise such as design, causing it to reconsider and reaffirm its object of study and its domains more quickly.

The evolution of the practice of the design and the determination of the form in the products have been marked by the changes of the technological, productive and economic environment, that reflect of the social, political and cultural conditions, therefore they can be identified in its history certain features parallel to them.

The development of the productive environment supported by technology has enabled a rapid evolution of Direct Digital Manufacturing models, CAS - CAD - CAM models (aesthetics, design and assisted manufacturing), Graphic Programming within Parametric Design and Morphic Generative models, Which necessarily affect the ways of approaching design problems and establish new features in their framework. The perspective that introduces the concept of Metaform facilitates the adaptation to the productive models and its own evolution.

Metaform as a domain of design in the new industrial revolution sows the basis of disciplinary relations under the language of the digital age, consolidates the design competition in the material development of the human environment and enhances research in its own domain.

Considering how the fundamental domain of design, the other aspects that assist the development of a product are useful to the extent that contribute to the determination of form, because only through it expresses the synthesis of all these contributions, making Manifests its complexity.

According to the changes around the domain of the determination of the form is necessary an adaptation that establishes clearly the relations with other disciplines and

strengthens its dominion within the design. The Metaforma allows an efficient relationship between the different disciplinary domains and a deeper specialization of the design.

The Metaform gives body to all those isolated efforts that have pushed the evolution of the design and raises a working model, integrating the generative capacities of the digital media, the productive capacities in the direct digital manufacture and the programming of algorithms, thus giving Response to massive personalization, localized production and participatory or open source design.

The development of digital morphogenesis is one of the means for the establishment of the Metaform, which with the use of parameters dota of testable elements and concrete arguments to the creation, even the design intensions. It will be then when the sciences have a solid and verifiable manifestation in an artistic production as is the design of products in an industrial environment.

The Metaform is a necessary concept to identify a domain that is given in the practice with more and more relevance, in a more evident way and with the complexities that the design and the product design implies.

The Metaform updates the design from the conceptual perspective to the digital age and facilitates the delimitation of its role in product development, cohesion of design thinking, visual intelligence, abstract conceptualization, active experimentation, concrete experience and reflexive observation, Thus reactivating the flow between knowledge and ability to design.

An integrative concept such as the Metaform allows us to study disciplinary relationships more clearly and facilitates coordinated interdisciplinary work.

The Metaform, when integrated in a digital language, supports disciplinary relations for a concurrent exchange around the determination of form and allows to operate indistinctly with and between different disciplines, therefore transcends the disciplines and facilitates crossing the disciplinary limits.

Finally, the concept of Metaform allows the integrated research with different disciplines from a proper domain of the design and opens a new and great space for the

investigation in design, although it is not a theoretical transformation, nor a complex methodological model, is a concept Which reflects a present practice that is projected into the future.

This first step more daring than conscious seeks to mobilize criticism and especially the construction of new spaces of research around the domains of design.

8 TRABAJOS CITADOS

Adler, P., Mandelbaum, A., Nguyen, V., & chwerer, E. (1995). From project to process management: empirically-based framework for analyzing product development time. *Management Science* , 41 (3), 458–484.

Aguilar Zambrano, J. A., Prada Molina, M. S., Gómez-Senent, E., & González Cruz, M. d. (13 de septiembre de 2006). *La multidimensionalidad del proyecto: análisis histórico y perspectivas* . Recuperado el 10 de enero de 2015, de [www.puj.edu.co: http://portales.puj.edu.co/jaguilar/Multidimensionalidad.pdf](http://portales.puj.edu.co/jaguilar/Multidimensionalidad.pdf)

Aish, R., & Woodbury, R. (2005). Multi-level Interaction in Parametric Design. En A. Butz, B. Fisher, A. Krüger, Olivier, & P. (eds), *Smart Graphics* (págs. 924-942). Berlin: Springer Berlin.

Akin, O., & Hoda, M. (2004). Strategic use of representation in architecturalmássing. *Design Studies* , 25 (1), 31-50.

Alexander, C. (1969). *3 Aspectos de matemática y diseño*. Barcelona, Cataluña, España: Tusquets .

Allen, J., Mistree, F., & Hernandez, G. (2003). Platform Design for Customizable Products and Production Processes as a Problem of Access in a Geometric Space. *Engineering Optimization* , 35 (3), 229-254.

Andersen, A. (2001). Implementation of engineering product design using international student teamwork—to comply with future needs. (E. S. Education, Ed.) *European Journal of Engineering Education* , 26 (2), 179 - 186.

Archer, B. L. (1981). A view of the nature of design research. En J. R., J. Powell, & I. B. Ltd. (Ed.), *Design, science, method* (págs. 30-35). Guildford, UK: Butterworth.

Archer, B. (1995). Nature of design research. *Co-Design, Interdisciplinary Journal of Design* , 2 (2), 6–13.

Arnheim, R. (1969). *Visual Thinking*. Berkley, LA, USA: University of California.

Asimow, M. (1970). *Introducción al Proyecto*. México, México: Herrero Hermanos.

Atkinson, P. (2003). Future factories. En H. The media centre (Ed.). Halifax: University of Huddersfield.

Barnatt, C. (2013). *3D Printing. The next industrial revolution*. USA: Explaining the future.

Becerra, P., & Cervini, A. (2005). *En torno al producto Diseño estratégico e innovación pyme en la Ciudad de Buenos Aires*. (C. M. Diseño, Ed.) Buenos Aires, Argentina: IMDI Instituto Metropolitano de Diseño e Innovación.

Beckman, S. L., & Barry, M. (2007). Innovation as a Learning Process: Embedding Design Thinking. *California Management Review* , 50 (1), 25-56.

Beheshti, R., & Van der Veer, P. (1999). Design science and technology: setting the agenda for the 21st century. *Europ IA 2000. Civil Engineering Informatics*. Delft: Delft University of Technology.

Benami, O., & Jin, Y. (2002). Creative stimulation in conceptual design. *ASME 2002 International Design Engineering Technical Conference*. 4, págs. 251-263. Montreal: American Society of Mechanical Engineers.

Bentley, P. (1999). *Evolutionary design by computers*. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Benyus, J. (25 de 01 de 2012). *Biomimicry*. Recuperado el 18 de 6 de 2014, de Biomimicry.org: www://biomimicry.org/whats.is.biomimicry/#.Vfw7uLTc3yY

Benyus, J. M. (2012). *Biomimesis. Cómo la ciencia innvova inspirándose en la naturaleza*. (T. Editores, Ed., & A. García Leal, Trad.) Barcelona, Cataluña, España: Tusquets Editores.

Berlyne, D. E. (1974). *Studies in the new experimental aesthetics: steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation*. Washington, USA: Hemisphere Publishing.

- Bianchi, C., Montanari, F., & Zingale, S. (2010). *La semiotica e il progetto 2. Spazi, oggetti, interfacce*. Milano , Italia: FrancoAngeli .
- Bignon, J.-C., Marin, P., & Lequay, H. (2008). A genetic algorithm for use in creative design processes. *Acadia 08. Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*. Minneapolis: Acadia.
- Bilda, Z., & Demirkan, H. (2003). An insight on designers sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies* , 24 (1), 27-50.
- Bonsiepe, G. (1975). *Teoría y práctica del diseño idustrial*. Barcelona, Cataluña, España: Gustavo Gili.
- Broadbent, J., & Cross, N. (2003). Design education in the information age. *Journal of Engineering Design* , 14 (4), 439-446.
- Browning, T., & Eppinger, S. (2002). Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development. *Transactions on Engineering Management* , 49 (4), 443–458.
- Brun, J.-M. (2000). A Modeller for Preliminary Design. En B. Pere, C. Hoffmann, & D. Roller, *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New.
- Buchanan, R. (1992). Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues* , 8 (2), 5-21.
- Capjon, J. (2004). *Trial and error based innovation*. Tesis doctoral, Oslo School of Architecture and Design , Institute of industrial design .
- Chalmers, A. (2003). *What Is this thing called science?* (4 edition ed.). (U. o. Press, Ed.) St. Lucia, Queensland, Australia: Hackett Publishing Company, Inc.
- Chang, K.-H., & Bryant, I. H. (2004). Concurrent design and manufacturing of aircraft torque tubes. *Journal of Materials Processing Technology* , 150 (1-2), 151-162.
- Changchien, S., & Lin, L. (2000). Concurrent design of machined products: a multivariate decision approach. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C (Applications and Reviews)* , 30 (2), 252-264.
- Chaur Bernal, J. (2005). *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador : Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Cheutet, V., Catalano, C., Giannini, F., Monti, M., Falcidieno, B., & Leon, J.-C. (2007). Semantic-based operators to support car sketching. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 395–411.
- Chusllp, P., & Jin, Y. (2004). Cognitive modeling of iteration in conceptual design. *ASME International Design Engineering Technical Conference*. 3a, págs. 473-485. Salt Lake: American Society of Mechanical Engineers,U.S.
- Colabella, E., & Soddu, C. (2014). Logical interpretations for generative algorithms. En C. Soddu, & E. Colabella (Ed.), *XVII Generative Arts Conference*. Milano: Domus Argenia.
- Colombo, F. (2005). *Atlante della comunicazione: Cinema, design, editoria, internet, moda, música, pubblicità, radio, teatro, telefonia, televisione*. Milano, Italia: Hoepli .
- Comb, J. (20 de Abril de 2012). *stratasys Ltd*. Recuperado el 1 de septiembre de 2014, de [www.stratasys.com: http://www.stratasys.com/resources/~media/BEB420F44D3D4C6B976AC07B85BAA143.pdf](http://www.stratasys.com/resources/~media/BEB420F44D3D4C6B976AC07B85BAA143.pdf)
- Cook, T. (1914). *The curves of life begin an account of spiral fromations and their application to growth in nature, to science and to art; whit special reference to the manuscript of Leonardo Da Vinci*. (C. a. LTD, Ed.) Londres, Inglaterra.
- Cox, J. (2000). Product templates. A parametric approach tomáss customization. En P. Brunet, C. Hoffmann, D. Roller, & S.-V. B. GmbH (Ed.), *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. Springer.
- Cross, N. (1998). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Cross, N. (1993). Science and design methodology: a review. *Research in Engineering Design* , 5 (2), 195-201.

- Dankwort, C. W., & Podehl, G. (2000). A New Aesthetic Design Workflow - Results from the European Project FIORES . En P. Brunet, C. Hoffmann, & D. Roller, *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Davis, D. (2009). *Evolving digital morphogenesis by means of biology computer science*. Tesis pregrado, BArch Victoria University, Wellington.
- De Landa, M. (2002). Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture. En *Designing for a Digital World* (págs. 117-120). New York: Wiley.
- Dean, L. (2009). *Futurefactories: the application of random mutation to threedimensional design*. University of Huddersfield. Huddersfield: University of Huddersfield.
- Devlin, K. (2002). *El lenguaje de las matemáticas. Un fascinante y clarificador viaje por la historia y el sentido actual de la matemática*. (E. Robinbook, Ed.) Barcelona, Cataluña, España: MaNonTropo.
- Dewey, J. (1980). *Art as experience*. New York, USA: Penguin Group.
- Dilnot, C. (1982). Design as a socially significant activity: An introduction. (E.-i.-C. N. Cross, Ed.) *Design Studies* , 3 (3), 139-146.
- Dilnot, C. (1989). The estate of design history. Part 2. Problems and possibilities. En V. Margolin, *Design discourse: History, Theory, Criticism* (págs. 213-250). Chicago, USA: The University of Chicago Press.
- DiSalvo, C. (12 de septiembre de 2006). *The Constitution of The Product: Form, Function, Material, and Expression*. Recuperado el 3 de mayo de 2015, de School of computer science. Carnegie Mellon University: <http://www.cs.cmu.edu/~illah/CLASSDOCS/DiSalvoChapter2.pdf>
- Dong, Z. (1993). *Artificial Intelligent in Optimal Design and Manufacturing* (Environmental and Intelligent Manufacturing Systems ed., Vol. 3). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Dong, Z. (1993). Design for automated manufacturing. En A. Kusiak, *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques* (págs. 207-234). New York: John Wiley & Sons.
- Doursat, R. (18 de Mayo de 2011). *Morphogenetic engineering weds bio self-organization to human-designed systems*. (L. U. Imperial College London, Ed.) Recuperado el 20 de junio de 2015, de PerAda Magazine. Towards pervasive adaptation : <http://www.perada-magazine.eu/view.php?article=003722-2011-05-18&category=Agents>
- Doursat, R., Sayama, H., & Michel, O. (2012). *Morphogenetic Engineering: Toward Programmable Complex Systems*. Springer.
- Eekels, J., & Roozenburg, N. (1999). The geography of engineering design Science. En N. H. Mortensen, & J. Sigurjonsson, *Critical Enthusiasm: Contributions to Design Science* (págs. 41-54). Oslo, Denmark: Universidad Noruega de Ciencia.
- Eisenman, P. (1999). *Diagram diaries*. (Universe, Ed.) New York, New York, USA: Universe Publishing.
- Eppinger, S., & Browning, T. (2011). *Design Structure Matrix Methods and Applications*. Boston, USA: The MIT Press.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). *Toward a General Theory of Expertise*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Erkarslan, O. (2013). A Systematic Review of the Relations between Industrial Design Education and Industry in Turkey through SWOT Analysis. (Routledge, Ed.) *The Design Journal* , 16 (1), 74-102.
- Evans, E. (2003). *Domain-Driven Design*. Boston, USA: Addison-Wesley.
- Fairclough, K. (2005). Ecozen. En J. Wood, K. Ang, A. Eysler, H. Jones, & S. Lai, *Agents of Change: A Decade of MA Design Futures*. London, UK: Goldsmiths, University of London.
- Ferguson, E. (1992). *Engineering and the Mind's Eye*. Boston, USA: MIT Press.
- Filippi, S., Cristofolini, I., & Bandera, C. (2007). Evolution of a Knowledge-based System for industrial design, manufacturing and verification. *Research in engineering design* (18), 1-19.

- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering. *Research in Engineering Design*, 1 (2), 121-137.
- Fischer, G., & Giaccardi, E. (2006). Meta-Design: A Framework for the Future of End-User Development. En H. Lieberman, F. Paternò, & V. Wulf, *End User Development*. Amsterdam: Springer Netherlands.
- Flurscheim, C. (1983). Objectives and techniques of industrial design in engineering. En C. Flurscheim, *Industrial Design in Engineering a Marriage of Techniques*. London, UK: The Design Council London.
- Frazer, J., & Johnston, P. (1995). *An Evolutionary architecture*. Londres, UK: Architectural Association Publications.
- Friedman, K. (2000). Design knowledge: context, content and continuity. En D. Durling, & K. Friedman (Ed.), *Proceedings of the Doctoral education in design: foundations for the future conference* (págs. 5–17). Staffordshire: Staffordshire University Press.
- Fujita, K., Nakayama, T., & Akagi, S. (1999). Integrated product design methodology for aesthetics, functions and geometry with feature-based modeling and constraint management. *International conference on engineering design ICED 99*. 3, págs. 1573-1576. Munich: ICED.
- Fulcher, A., & Hills, P. (1998). A taxonomy of design research topics by multivariate agglomerative clustering. *Journal of Engineering Design*, 9 (4), 343-354.
- Fuller, R. B. (1969). *Operating Manual for Spaceship Earth*. Carbondale, IL, USA: Southern Illinois University Press.
- Galanter, P. (2003). What is Generative Art? Complexity theory as a context for art theory. *VI Generative art conference*. Milano: Domus Argenia.
- Galilei, G. (1623). *Il Saggiatore*. Roma, Italia.
- Garzón Orjuela, J. C. (24 de septiembre de 2014). *Metadiseño: Una vocación chamánica para el siglo 21*. Recuperado el 26 de octubre de 2015, de Medium.com: <https://medium.com/@thoronar/metadiseno-28e79f4c172d#.53rdj788o>
- Gastaldo Suau, B. (2012). Geometría y método en diseño gráfico: del paradigma Newtoniano a la teoría general de sistemas, el caos y los fractales. (U. C. Madrid, Ed.) *Arte, individuo y sociedad*, 24, 269-282.
- Gershenson, J., & Ishii, K. (1993). Life-cycle serviceability design. En A. Kusiak, *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques* (págs. 363–384). New York: John Wiley & Sons.
- Ghyka, M. C. (1977). *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes*. Barcelona, Cataluña, España: Poseidon.
- Giaccardi, E. (2003). *Principles of metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space*. Plymouth University, Faculty of Science and Technology. Plymouth: CAiiA-star.
- Giaccardi, E. (2003). *Principles of Metadesign. Processes and Levels of Co-Creation in the New Design Space*. University of Ptymouth, Schoot of Computing Faculty of Technology. Ptymouth, UK: University of Ptymouth.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive manufacturing technologies. Rapid prototyping to direct digital manufacturing*. New York, New York, USA: Springer.
- Glegg, G. L. (1973). *The science of design*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston ,máss, USA: Addison-Wesley Educational Publishers .
- Gomez-Senent Martínez, E. (2002). *El proyecto diseño en ingeniería*. (G. alfaomega, Ed.) Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gomez-Senent Martínez, E. (1998). *La Ciencia de la Creación de lo Artificial: un paradigma para la resolución de problemas*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Haik, Y., & Shahin, T. (2003). *Engineering Design Process*. Stamdfor, USA: Cengage Learning.

Hasirci Ddeniz, D. H. (2007). Understanding the effects of cognition in creative decision making: A creativity model for enhancing the design studio process. *Creativity Research Journal* , 19 (2-3), 259-271.

Hatano, G. (1988). Social and motivational bases for mathematical understanding. (G. S. Herdt, Ed.) *Children's mathematics: New directions for childs and adolescent development* (41), 55-70.

Hatano, G., & Inagaki, K. (1984). Two courses of expertise. *Research and clinical center for child development. Annual Report* , 6 (3), 27-36.

Hidalgo Herrera, M. (s.f.). *Diseño Geometrico Natural*. Recuperado el 15 de 09 de 2014, de es.scribd.com: <http://es.scribd.com/doc/33294842/DISENO-GEOMETRICO-NATURAL>

Hinrichsen, C. (2002). *Educacion del diseño basado en competencias: Un aporte a la competitividad*. Santiago, Chile: Escuela de Diseño del Instituto Profesional DuocUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Höltkä-Otto, K., Tang, V., & Seering, W. (2003). Modularizing product architectures using dendrograms. *ICED 03. 14th International Conference on Engineering Design* (págs. 343-344). Stockholm: Design Society.

Hodgson, M. L. (1994). *Geometria y diseño de la realidad sensible desde las bellas artes*. Universidad de La Laguna. San Cristobal de la Laguna: Universidad de La Laguna.

Hollins, B., & Pugh, S. (1990). *Successful Product Design*. London, UK: Butterworth-Heinemann.

Holyoak, K. (1991). Symbolic Connectionism: Third Generation Theories. En K. A. Ericsson, & J. Smith, *Toward a General Theory of Expertise* (págs. 301-335). New York, USA: Cambridge University Press.

Hopkinson, N., Hague, R., & Dickens, P. (2006). *Rapid manufacturing: An industrial revolution for the digital age*. Chichester, West Sussex, England: Jhon Wiley and Sons.

Horváth, I. (2004). A treatise on order in engineering design research. *Research in engineering design* , 15, 155-181.

Horváth, I. (2004). A treatise on order in engineering design research. *Research in Engineering Design* , 15 (3).

Horváth, I. (2008). Differences between 'research in design context' and 'design inclusive research' in the domain of industrial design engineering. *Journal of design research* , 7 (1), 61 - 83.

Horváth, I., & Rusák, Z. (2007). Computational methods to support sketching, reverse engineering, and optimization of shapes. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 391-394.

Horváth, I., Rusák, Z., & Duhovnik, J. (2007). Computational methods to support sketching, reverse engineering, and optimization of shapes. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 391-394.

Hsu, H. Y., & Lin, G. (2002). Quantitative measurement of component accessibility and product assemblability for design for assembly application. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , 18 (1), 13-27.

Hubka, V., & Eder, W. E. (1996). *Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*. London, UK: Springer-Verlag.

Ibbs, C. W. (1997). Quantitative impacts of project change: size issues. *Journal of Construction Engineering and Management* , 123 (3), 308-311.

Ibbs, C. W., Kwak, Y., Ng, T., & Odabasi, M. (2003). Project delivery systems and project change: quantitative analysis. *Journal of Construction Engineering and Management* , 129 (4), 382-387.

Imperiale, A. (2016). Post 1957 Italy: The progetto si e no. En K. Lloyd Thomas, T. Amhoff, & N. Beech, *Industries of Architecture*. New York, USA: Routledge.

Iordanova, I., Tidafi, T., Guité, M., De Paoli, G., & Lachapelle, J. (2009). Parametric methods of exploration and creativity during architectural design: A Case study in the design studio. En T. Tidafi, & T. Dorta (Ed.), *Joining Languages, Cultures and Visions: CAAD Futures 2009* (págs. 423-439). Montreal.: Elsevier / Kluwer.

- Iserte, E., Espinosa, M., & Domínguez, M. (2012). Métodos y metodologías en el ámbito del diseño industrial. *Técnica Industrial* (300), 38-44.
- ISO. (2001). *Product data representation and exchange. Integrated application resource: Parameterization and constraints for explicit geometric product models*. ISO, Committee Draft (CD). Geneva: ISO.
- Jabi, W. (2013). *Parametric design for architecture*. Londres, UK: Laurence King Publishing.
- Jiang, L., & Allada, V. (2005). Robust modular product family design using a modified Taguchi method. *Journal of Engineering Design*, 16 (5), 443-458.
- Jones, J. C. (1992). *Métodos de Diseño* (segunda ed.). Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Karim, A., & Adeli, H. (1999). CONSCOM: An OO construction scheduling and change management system. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125 (5), 368-376.
- Killi, S. (2013). *Designing for additive manufacturing: Perspective from product design*. Tesis Doctoral, Oslo School of Architecture and Design, Oslo.
- Kim, J., Bouchard, C., Omhover, J., & Aoussat, A. (2010). Towards a model of how designers mentally categorise design information. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 3 (3), 218-226.
- King, A. M., & Sivaloganathan, S. (1999). Development of a Methodology for Concept Selection in Flexible Design Strategies. *Journal of Engineering Design*, 10 (4), 329-349.
- Kleiner, S., Anderl, R., & Grab, R. (2003). A collaborative design system for product data integration. *Journal Engineering Design*, 14 (4), 421-428.
- Kobayashi, M., Nishiwakib, S., Izuib, K., & Yoshimura, M. (2009). An innovative design method for compliant mechanisms combining structural optimisations and designer creativity. *Journal of Engineering Design*, 20 (2), 125-154.
- Kolarevik, B. (2012). *Digital morphogenesis*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Universidad de las Vegas: <http://unlvmake.org/aae795/wp-content/uploads/2014/01/02DigitalMorphogenesis.pdf>
- Kolb, A., & Kolb, D. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey: Prentice Hall.
- Koza, J., Keane, M., Streeter, M., Mydlowec, W., Yu, J., & Lanza, G. (2003). *Genetic Programming IV Routine Human-Competitive Machine Intelligence*. USA: Springer US.
- Langerak, T., & Vergeest, J. (2007). A new framework for the definition and recognition of free form features. *Journal of Engineering Design*, 18 (5), 489-504.
- Larsen, U., Sigmund, O., & Bouwstra, S. (1997). Design and fabrication of compliant micromechanisms and structures with negative Poisson's ratio. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 6 (3), 99-106.
- Laszlo, E. (1996). *Evolution. The general theory*. New York, USA: Hampton Press.
- Leach, N. (2009). Digital morphogenesis. *Architectural design*, 79 (1).
- Leach, N. (1999). *The anaesthetics of architecture*. Boston, másS, USA: MIT Press.
- Lecorbusier. (1931). *Towards a new architecture*. (F. Etchells, Trad.) New York: Dover Publications.
- Lee, J. H., Gu, N., & Sherratt, S. (2011). Developing a framework for evaluating creativity in parametric design. En T. 4. 2011 (Ed.), *From principles to practice in architectural science - ANZAScA2011*. Sydney: ASA.
- Lee, J. H., Gu, N., Jupp, J., & Sherratt, S. (2014). Evaluating Creativity in Parametric Design Processes and Products: A Pilot Study. En J. Gero (Ed.), *5th International Conference on Design Computing and Cognition* (págs. 165-184). Texas: Springer,.
- Lefteri, C. (2008). *Así se hace. Técnicas de fabricación para el diseño de producto*. (C. Herrero, Trad.) Barcelona, Cataluña, España: Blume.
- Lewis, W., & Bonollo, E. (2002). An analysis of professional skills in design: implications for education and research. *Design Studies*, 23 (4), 385-406.
- Lindbeck, J. (1995). *Product design and manufacture*. Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall Inc.

- Lippincott, G. (1945). Industrial design as a profession. (C. A. Association, Ed.) *College Art Journal* , 4 (3), 149-152.
- Liu, S., & Boyle, I. M. (2009). Engineering design: perspectives, challenges, and recent advances. *Journal of Engineering Design* , 20 (2), 7-19.
- Liu, S., Lee, Y., Lin, Y., & Tseng, C. (2013). Applying quality function deployment in industrial design curriculum planning. *International Journal of Technology and Design Education* , 23, 1147-1160.
- Lloyd Thomas, K., Amhoff, T., & Beech, N. (2016). *Industries of Architecture*. New York, USA: Routledge .
- Lorenz, C. (1986). *The Design Dimension*. New York, USA: Basil Blackwell Ltd.
- Love, T. (2000). Philosophy of design: a meta-theoretical structure for design theory. *Design Studies* , 21 (3), 293-313.
- López Coronel, J., & Muñoz, P. (20 de junio de 2014). [www.jlopezcoronel.com.ar](http://www.jlopezcoronel.com.ar/pdf/munoz-lopez-esp.pdf). Recuperado el 10 de mayo de 2015, de <http://www.jlopezcoronel.com.ar/pdf/munoz-lopez-esp.pdf>
- Lynn, G. (1998). *Animate form*. New York, New York, USA: Princeton Architectural press.
- Lynn, G. (1992). Multiplicitous and inorganic bodies. *Assemblage* (19), 33-49.
- Madkour, Y., Neumann, O., & Erhan, H. (2009). Programmatic Formation: Practical Applications of Parametric Design. *International Journal of Architectural Computing* , 7 (4), 587-604.
- Maher, M. L. (2000). A model of co-evolutionary design. *Engineering whit Computers* , 16 (3), 195-208.
- Maher, M. L. (1994). Creative design using a genetic algorithm. En K. Khozeimeh (Ed.), *First Congress in conjunction with A/E/C Systems '94* (págs. 2014-2021). Washington: American Society of Civil Engineers.
- Manzini, E. (1992). *Artefactos. Hacia una nueva ecología del ambiente artificial*. Madrid, Madrid, España: Celeste ediciones.
- Manzini, E. (1993). *La materia de la invención. Materiales y proyectos*. Barcelona, Cataluña, España: CEAC.
- Margolin, V. (1995). The product milieu and social action. En V. Margolin, & R. Buchanan, *Discovering Design: Explorations in Design Studies* (págs. 121-145). Chicago, USA: The University of Chicago Press.
- Marrero, S., & Martínez, J. (2008). Estrategia para el diseño parametrico basado en modelos. *Ingeniería Mecánica* , 11 (3).
- Maturana, H. (1 de Agosto de 1997). *Metadesign*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de Instituto de terapia cognitiva. Inteco: www.inteco.cl/articulos/006/texto_ing.htm
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York, USA: North Point Press.
- Mendini, A. (1969). Metaprogetto si e no (il problema della costruzione metadesign). *Casabella* (333).
- Menges, A. (2007). Computational morphogenesis. *3rd International ASCAAD Conference on Em"body"ing virtual architecture* (págs. 725-744). Alexandria: ASCAAD.
- Mengoni, M., Germani, M., & Mandorli, F. (2007). Reverse engineering of aesthetic products: Use of hand made sketches for the design intent formalization. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 413-435.
- Meyer, M., & Lehnerd, A. (1997). *The power of product platforms: building value and cost leadership*. (S. a. Schuster, Ed.) New York, USA: The Free Press.
- Miret, S. (2014). *Habitar paramérico*. Recuperado el 12 de julio de 2015, de Academia.edu: https://www.academia.edu/4472129/HABITAR_PARAMETRICO_SANTIAGO_MIRET
- Molina Carmona, R. (2002). Modelo superficie - trayectoria. Modelo geométrico para el diseño y la fabricación de objetos tridimensionales. Alicante, Alicante, España: Universidad de Alicante.

- Mulet, E., Gómez-Senent, E., & Vidal, M. R. (2001). Análisis de distintas variantes de brainstorming con la teoría de las dimensiones. *XVII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos*. Murcia: Universitat Jaume I. Grupo de ingeniería del diseño.
- Muñoz, P., & Lopez, J. (s.f.). *plm*. Recuperado el 10 de 11 de 2014, de <http://www.plm.com.ar>:
<http://www.plm.com.ar/academico/documentos/downloads/pdf textos/supsseb.pdf>
- Muñoz, P., & López, J. (2013). *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires*. Recuperado el 20 de Junio de 2014, de [fadu.uba.ar: http://www.plm.com.ar/academico/documentos/downloads/pdf textos/mydcas.pdf](http://www.plm.com.ar/academico/documentos/downloads/pdf textos/mydcas.pdf)
- Muñoz, P., López, J., & Rezk, A. (s.f.). *plm.com.ar*. Recuperado el 20 de 1 de 2015, de <http://www.plm.com.ar/academico/documentos/downloads/pdf textos/pubtecnopdf>
- Nardi, B. A. (1993). *A small matter of programming: Perspectives on end user computing*. Boston, máss, USA: MIT press.
- Navarrete, S. (2014). Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI. *Cuadernos del Centro de estudios de diseño y comunicaciones*. , 49.
- Nayak, R., Chen, W., & Simpson, T. (2002). A variation-based method for product family design. *Engineering Optimization* , 34 (1), 65–81.
- Nelson, S., Parkinson, M., & Papalambros, P. (2001). Multicriteria optimization in product platform design. *Journal of Mechanical Design* , 123 (2), 199–204.
- Otto, K., & Wood, K. (1998). Product evolution: Reverse engineering and redesign methodology. *Research in Engineering Design* , 10.
- Oxman, R. (2002). The Thinking Eye: Visual Re-cognition in Design Emergence. *Design Studies* , 23 (2), 135-164.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (1996). *Engineering Design A Systematic Approach*. London, UK: Springer-Verlag London.
- Paredis, J. (1998). Coevolutionary algorithms. En T. Back, D. Fogel, & Z. Michalewicz, *The handbook of evolutionary computation*. Oxford: Oxford University Press.
- Patiño, E., & Arbeláez, E. (2009). *Generación y transformación de la forma. Morfología, geometría, naturaleza y experimentación*. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Pernot, J. P., Moraru, G., & Véron, P. (2007). Repairing triangle meshes built from scanned point cloud. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 459–473.
- Pernot, J.-P., Guillet, S., & Léon, J.-C. (2010). *researchgate.net*. Recuperado el 12 de junio de 2014, de http://www.researchgate.net/profile/Jean-Philippe_Pernot/publication/221326364_A_Shape_Deformation_Tool_to_Model_Character_Lines_in_the_Early_Design_Phases/links/0deec52287acb7807b000000.pdf
- Pham, D., & Ji, C. (1999). A concurrent design system for machined parts. *Journal of Engineering Manufacture* , 213 (8), 841–846.
- Picon, A. (2009). La arquitectura y lo virtual. Hacia una nueva materialidad. En L. Ortega, *La digitalización toma el mando* (págs. 67-84). Barcelona, Cataluña, España: Gustavo Gili.
- Piegl, L., & Tiller, W. (1997). *The Nurbs book* (2 edición ed.). New York, Nwe York, U.S.A.: Springer.
- Poli, R., & Langdon, W. F. (2008). *A Field Guide to Genetic Programming*. Londres, UK: Lulu Enterprises UK.
- Polinoro, L. (2013). *metaprogettare*. (L. Polinoro, & B. Pasini, Productores) Recuperado el 20 de enero de 2016, de Twirl: <http://www.twirl.academy/stories/tale/metaprogettare/>
- Popovic, V. (2004). Expertise development in product design – strategic and domain-specific knowledge connections. *Design Studies* , 25 (5), 527-545.
- Prestholt, E. (junio de 2014). *The many faces of industrial designers: Educating a hybrid of an engineer and an artist*. . Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de [ntnu.no: https://www.ntnu.no/documents/10401/1264435841/Artikkel+Eivind+Prestholt.pdf/e8c2a09a-ef2f-4d93-9c4c-e2755ab5ecb0](https://www.ntnu.no/documents/10401/1264435841/Artikkel+Eivind+Prestholt.pdf/e8c2a09a-ef2f-4d93-9c4c-e2755ab5ecb0)

Prestholt, E. (junio de 2014). *The many faces of industrial designers: Educating a hybrid of an engineer and an artist*. Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de ntnu.no: <https://www.ntnu.no/documents/10401/1264435841/Artikkel+Eivind+Prestholt.pdf/e8c2a09a-ef2f-4d93-9c4c-e2755ab5ecb0>

Preuss, P. (1 de Mayo de 2015). *In the domain of design*. Recuperado el 20 de enero de 2016, de Berkeley engineering: <http://engineering.berkeley.edu/magazine/spring-2015/domain-design>

Probst, L., Monfardidni, E., Frideres, L., & Demetri, D. (2013). *Advanced manufacturing. New manufacturing engineering*. European Commission, Directorate general for enterprise and industry. Bruselas: European Commission.

Proni, G. (2010). Progettare il senso. Una semiótica della progettazione. En C. Bianchi, F. Montanari, & S. Zingale, *La semiotica e il progetto 2. Spazi, oggetti, interfacce*. Milano, Italia: Franco Angeli.

Pugh, S. (1996). *Creating Innovative Products using Total Design*. Boston,máss, USA: Addison-Wesley.

Pugh, S. (1990). Engineering design - unscrambling the research issues. *Journal of engineering design* , 1 (1), 65 - 72.

Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering* . Reading ,mássachusetts, USA: Addison-Wesley.

Ramage, M. (2001). So What's a Metaproject For? (R. L. Flood, Ed.) *Systemic Practice and Action Research* , 14 (6).

Reichardt, J., & Bense, M. (1971). *Cybernetics, Art and Ideas. The proyects of generative aesthetics*. New York, USA: New York Graphic Society .

Rittel, H., & Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences* , 4, 155-169.

Roozenburg, N., & Eekels, J. (1995). *Product Design: Fundamentals and Methods*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.

Rosemberg, A. (2000). *Philosophy of Science: A Contemporary Approach*. London, UK: Routledge.

Rosenman, M. (1997). An exploration into evolutionary models for non rutine design. *Artificial intelligence in engineering* , 11 (3).

Rosenman, M., Radford, A. B., Gero, J., & Coyne, R. (1990). *Knowledge-Based Design Systems*. Sydeney: Addison-Wesley Publishing Company.

Ruiz, O., Vanegas, C., & Cadavid, C. (2007). Principal component andVoronoi skeleton alternatives for curve reconstruction from noisy point sets. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 437–457.

Rzevski, G. (1991). Strategic importance of engineering design. *Journal of Design and Manufacturing* , 2 (1), 43-47.

Sánchez Valencia, M. (2001). *Morfogenesis del objeto de uso. La forma como hecho social de convivencia*. (Cuadernos de Diseño Industrial ed.). (U. J. Lozano, Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Univeridad Jorge Tadeo Lozano.

Salim, F. D., & Burry, J. (2010). Software Openness: Evaluating Parameters of Parametric Modeling Tools to Support Creativity and Multidisciplinary Design Integration. En D. T. al. (Ed.), *International conference on Computational Science and Its Applications*. 3, págs. 483-497 . Fukuoka: Springer Berlin .

Sarquis, J., & Camarero, E. (1972). Composición automatica de espacios arquitectonicos. *Fundación Juan March*. Madrid: Fundación Juan March.

Sayama, H., Doursat, R., & Michel, O. (2012). *Morphogenetic Engineering: Toward Programmable Complex Systems*. Londres, UK: Springer.

Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York, USA: Basic Books.

Schon, D. (1990). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions* (1 edition (February 15, 1990) ed.). San Francisco, California, USA: Jossey-Bass.

- Schumacher, P. (2010). The Parametricist Epoch: Let the Style Wars Begin. *The Architects' Journal*, 231 (16).
- Shin, J., & Yoon, J. (2014). Toward genetics aesthetics: Mutation of Bio information and generative art system. *XVII Generative art conference*. Milano: Domus Argenia.
- Sigmund, O. (1997). On the design of compliant mechanisms using topology optimization. *Mechanics of Structures and Machines*, 25 (4), 493–524.
- Simon, H. A. (1969). *Sciences of the artificial*. Cambridge, máss, USA: MIT Press.
- Simpson, T., & D'Souza, B. (2004). Assessing variable levels of platform commonality within a product family using a multi-objective genetic algorithm. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 12 (2), 119–130.
- Simpson, T., Maier, J., & Mistree, F. (2001). Product platform design: method and application. *Research in Engineering Design*, 13 (1), 2-22.
- Skinner, S. (2007). *Geometria Sagrada. Desifrando el código*. (1 edición ed.). (O. P. Ltd., Ed., & B. Gonzáles Villegas, Trad.) Madrid, Madrid, España: Gaia Ediciones.
- Smets, G. (1995). Industrial design engineering and the theory of direct perception and action. *Ecological Psychology*, 7 (4), 329-374.
- Soddu, C. (1989). *Città aleatorie*. Milano: Elsevier.
- Staszewski, J. J. (1988). Skilled Memory and Expert Mental Calculation Programs. En M. T.H. Chi, R. Glaser, & M. Farr, *The Nature of Expertise* (págs. 71-128). Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Steward, D. (1981). The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-28 (3), 71-74.
- Stiny, G. (1993). Emergence and Continuity in Shape Grammars. En E. U. Technology (Ed.), *Conference on Computer-Aided Architectural Design CAAD 93* (págs. 37-54). Pittsburgh: CAAD.
- Stiny, G. (2001). *How to calculate with shapes*. Recuperado el 1 de 5 de 2016, de <http://ocw.mit.edu: http://ocw.mit.edu/courses/architecture/4-273-introduction-to-design-inquiry-fall-2001/lecture-notes/stinycalculatewithshapes.pdf>
- Suh, N. P. (1990). *The Principles of Design*. (Oxford Series on Advanced Manufacturing). (O. USA, Ed.) NewYork,, USA: Oxford University Press.
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, T. Unexpected discoveries: How designers discover hidden features in sketches. En J. Gero, & B. Tversky, *Visual and Spatial Reasoning in Design* (págs. 145-162). Sydney: Key Centre of Design Computing and Cognition.
- Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., & Yoshikawa, H. (1990). Modeling Design Processes. *AI Magazine*, 11 (4), 37-48.
- Tecnoplot. (enero de 2011). *Challenges of Analyzing Parametric CFD Results*. Recuperado el 10 de 10 de 2015, de Tecnoplot: http://download.tecplot.com/docs/Challenges_of_Analyzing_Parametric_CFD_Results.pdf
- Telford, K. A. (1968). *Aristotle's poetics. Translation and analisis*. Chicago, USA: Henry Regnery.
- Tharp, B., & Tharp, S. (5 de enero de 2009). *The 4 Fields of Industrial Design: (No, not furniture, trans, consumer electronics, & toys)*. Obtenido de Core77: <http://www.core77.com/posts/12232/the-4-fields-of-industrial-design-no-not-furniture-trans-consumer-electronics-toys-by-2232>
- Thevenot, H., Nanda, J., & Simpson, T. (2005). A methodology to support product Family redesign using genetic algorithm and commonality indices. *ASME Design engineering technical conferences – 31 Design automation conference*. 2, págs. 1009-1018. Long Beach: ASME American Society of Mechanical Engineers.
- Ullman, D. (2004). *The Mechanical Design Process*. Singapore, Singapore: McGraw-Hill.
- Ulrich, D., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. (M. Hill, Ed., & R. Madrigal Alvarez, Trad.) México, México, México: McGraw Hill.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2011). *Product Design and Development* (Quinta ed.). Singapore, Singapore: McGraw Hill.

- Vajna, S., Edelmann-Nusser, J., Kittel, K., & Jordan, A. (2007). Optimisation of a bow riser using the autogenetic design theory. *Journal of Engineering Design*, 18 (5), 525–540.
- Valtonen, A. (31 de Mayo de 2005). *Six decades and six different roles for the industrial designer*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de Nordic Design Research: <http://www.nordes.org/opj/index.php/n13/article/view/233>
- Van Onck, A. (1964). Metadesign. (D. Bernardi, Ed.) *edilizia moderna* (85).
- Van Onck, A. (1994). *Design, il senso delle forme dei prodotti*. Milano, Italia: Lupetti editori .
- Vanden Broeck, F. (2000). *El diseño de la naturaleza o la naturaleza del diseño*. México D.F., México, México: Universidad Autonoma Metropolitana.
- Vassão, C. A. (2010). *Metadesign: ferramentas, estratégias e ética para a complexidade* . Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil: Blucher.
- Verstijnen, I., Van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., & Hennessey, J. (1998). Sketching and creative discovery. *Design Studies*, 19 (4), 519-546.
- Wagner, R., Osorio, R., & Silveira, R. (2003). Method for aesthetics design improvement . *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN ICED 03 STOCKHOLM*. Stockholm: The design society. Iced 2003.
- Wang, W., & Duffy, A. (2007). The design research pyramid: a three Layer framework. En J.-C. Bocquet (Ed.), *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design*. Paris: Design Science.
- Wentworth, D. (2003). *Sobre el crecimiento y la forma* (Primera edicion española ed.). (A. M. Rubio Diez, Trad.) Madrid, Madrid, España: Cambridge University Press, Madrid.
- Wiest, J., & Levy, F. (1997). *A Management Guide to PERT/CPM: With GERT/PDM/DCPM and Other Networks* (Segunda edición ed.). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Wood, J. (2013). Metadesigning Paradigm Change: an ecomimetic, language-centred approach. En S. Walker, J. Giard, & H. Walker, *The Handbook of Design for Sustainability*. Lancaster, UK: Bloomsbury Academic.
- Xue, D. (1997). A multi-level optimization approach considering product realization process alternatives and parameters for improving manufacturability. *Journal of Manufacturing Systems*, 16 (5), 337–351.
- Xue, D., & Dong, Z. (1998). Optimal fuel cell system design considering functional performance and production costs. *Journal of Power Sources*, 76 (1), 69-80.
- Xue, D., Cheing, S. Y., & Gu, P. (2008). Parameter design considering the impact of design changes on downstream processes based upon the Taguchi method. *Journal of Engineering Design*, 19 (4), 299-319.
- Xue, D., Rousseau, J., & Dong, Z. (1996). Joint optimization of performance and cost in integrated concurrent design: the tolerance synthesis part. *Journal of Engineering Design and Automation*, 2 (1), 73-89.
- Yang, M., You, M., & Chen, F. (2005). Competencies and qualifications for industrial design jobs: implications for design practice, education, and student career guidance. *Design Studies*, 26 (2), 155–189.
- Yassine, A. A. (2007). Investigating product development process reliability and robustness using simulation. *Journal of Engineering Design*, 18 (6), 545-561.
- Yassine, A. A. (2010). Parametric design adaptation for competitive products. *Journal of intelligent manufacturing*, 23.
- Zhang, F., & Xue, D. (2001). Optimal concurrent design based upon distributed product development life-cycle modeling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 17 (6), 469-486.
- Zhang, H. C., Kuo, T., Lu, H., & Huang, S. (1997). Environmentally conscious design and manufacturing: a state-of-the-art survey. *Journal of Manufacturing Systems*, 16 (5), 352–371.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, C. (1973). *Notes on the synthesis of form* (Seventh Printing ed.). Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press.
- Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1997). *A pattern Language. Towns. Buildings. Construction*. NY, USA: Oxford University Press.
- Alpay, E. (2012). *Implications of additive manufacturing applications for industrial design profession from the perspective of designers*. Middle east technical university. Ankara: Middle east technical university.
- Alsina Calata, C. (2005). *Los secretos geométricos en diseño y arquitectura*. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de Universitat Politècnica de Catalunya STCM Sociedad, Ciencia, Tecnología y Matemáticas: imarrero.webs.ull.es/sctm05/modulo3lp/3/calsina.pdf
- Alsina, C. (2005). *Geometría cotidiana. Placeres y sorpresas del diseño*. Barcelona, España: Rubes.
- Amadori, K. (2012). *Geometry Based Design Automation. Applied to aircraft modeling and optimization*. Sweden: Department of Management and Engineering, Linköping University.
- Atkinson, P., Dean, L., & Marshall, J. (2008). *AutoMake*. Lincolnshire, UK : The National Centre for Craft & Design.
- Bravo Márquez, D., & Arbeláez Ochoa, E. (2007). *Geometría para el diseño*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.
- Brunet, P., Hoffmann, C., & Roller, D. (2000). *CAD Tools and Algorithms for Product Design*. Springer.
- Bryant Williams, C. (2008). *Design and development of a layer-based additive manufacturing process for the realization of metal parts of designed mesostructure*. Georgia Institute of Technology, Mechanical Engineering. Atlanta: Georgia Tech.
- Campbell, I., Hague, R., Sener, B., & Wormald, P. (2003). The potencial for the bespoke industrial designer. *The Design Journal*, 6 (3), 24 - 34.
- Castaldo Suau, B. (2012). Geometry and method in graphic design: from the Newtonian paradigm to General Systems, Chaos and Fractals Theories. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24 (2), 269 - 282.
- Chica Blas, R. (2001). *DESCARTES, Geometría y método*. Madrid, España: NIVOLA.
- Christoph Heinrich, W. E. (2012). *Generative Design-to-Fabrication Automation using Spatial Grammars and Heuristic Search*. Technische Universität München, Ingenieria. München: Technische Universität München.
- Coletta, C., Colombo, S., Magaudda, P., Mattozzi, A., Parolin, L., & Rampino, L. (2014.). *A Matter of Design: Making Society trough Science and Technology*. 5th STS Italia Conference. Milano: STS Italia Publishing.
- Cook, T. A. (1914). *The curves of life being an account of spiral formations and their application to growth in nature, to science and to art; with special reference to the manuscripts of leonardo da vinci*. London, UK: Constable and company ltd.
- Coomaraswamy, A. (1997). *La transformación de la naturaleza en arte*. Barcelona, España: Editorial Kairos.
- Cordero Valle, J., & Cortes Parejo, J. (2002). *Curvas y superficies para modelado geométrico*. Madrid, España: RA-MA.
- De Spinadal, V. W. (2008). *Herramientas matemáticas para la arquitectura y el diseño*. Bueno Aires, Argentina: NOBUKO.
- Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., & Withell, A. (2010). Tools for Sustainable Product Design: Additive Manufacturing. *Journal of Sustainable Development*, 3 (3), 68 - 75.
- Dilys Salim, F., & Burry, J. (2010.). *Software Openness: Evaluating Parameters of Parametric Modeling Tools to Support Creativity and Multidisciplinary Design Integration*. En

- D. Taniar, O. Gervasi, B. Murgante, & E. Pardede, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2010* (Vol. Part III, págs. 483–497). Fukuoka, Japan: Springer-Verlag.
- Elam, K. (2003). *Geometría del diseño: estudios en proporción y composición*. Mexico, México: Trillas.
- Field, D., & Komkov, V. (1990). *Geometric Aspects of Industrial Design*. Ann Arbor, USA: Editorial SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics.
- French, K. L. (2012). *La geometría oculta de la vida*. Barcelona, España: Blume.
- Fu, L. (2013). *Geometric Modeling for Industrial Design with User-Prescribed Constraints*. CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. CARNEGIE MELLON UNIVERSITY.
- Fujita, K., Nakayama, T., & Akagi, S. (1999). Integrated product design methodology for aesthetics, functions and geometry with feature-based modeling and constraint management. *ICED99*. 3, págs. 1753 - 1757. International Conference on Engineering Design.
- Fung, R., & Chong, P. (2007). An active styling platform for designing and developing product families. *Journal of Intelligent Manufacturing* (18), 47 - 58.
- Geometry makes me happy*. (2013). Barcelona, España: Index Book.
- Gibson, I., Stucker, B., & Rosen, D. (2010). *Additive Manufacturing Technologies Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. NY: Springer Science-Business Media .
- Gomez Urgelles, J. (2010). *Cuando las rectas se vuelven curvas*. Barcelona, España: RBA LIBROS.
- Guevara Melo, E. (2010). *Diseño Industrial. Conceptos para la construcción de la forma*. Bucaramanga, Colombia: Editorial Universidad de Santander .
- Hague, R., Campbell, R., & Dickens, P. (2003). Implications on design of rapid manufacturing. (Institution of Mechanical Engineers, Ed.) *Journal of Mechanical Engineering Science , Part C*, 25-30 .
- Hasırcı, D. (2005). *Understanding the effects of cognition in creative decision-making: a creativity model for enhancing the design studio process*. Bilkent University, Institute of economics and social sciences . Ankara: Bilkent University.
- Hidalgo Herrera, M. (2010). *Diseño y Geometría. Geometría informática arquitectónica*. Recuperado el 20 de septiembre de 2014, de scribd: <http://es.scribd.com/doc/11994810/DISENO-Y-GEOMETRIA>
- Hodgson Torres, M. L. (1994). *Geometría y diseño de la realidad sensible desde las Bellas Artes*. Universidad de la Laguna, Humanidades y Ciencias. Servicio de publicaciones Universida de la Laguna.
- Hopkinson, N., & Dickens, P. (2001). Rapid prototyping for direct manufacture. *Rapid prototyping journal* , 7 (4), 197 - 202.
- Hopkinson, N., Dickens, P., & Hague, R. (2006). *Rapid Manufacturing An Industrial Revolution for the Digital Age*. NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- Horváth, I., Duhovnik, J., & Rusák, Z. (2007). Computational methods to support sketching, reverse engineering, and optimization of shapes. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 391–394.
- Huanga, G., Lia, L., & Schulze, L. (2008). Genetic algorithm-based optimisation method for product family design with multi-level commonality. *Journal of Engineering Design* , 19 (5), 401 - 416.
- Hyun Lee, J., Gu, N., Jupp, J., & Sherratt, S. (2012). Evaluating Creativity in Parametric Design Processes and Products: A Pilot Study. En J. Gero, *Design Computing and Cognition '12* (págs. 165 - 183). Fairfax, USA: Springer.
- ISO. (2013). Geometrical product specifications (GPS) Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment . *ISO 14253-1:2013* . ISO.
- Issa, R. (2013). *Essential Mathematics for Computational Design*. Robert McNeel & Associates.
- Jiang, L., & Allada, V. (2005). Robust modular product family design using a modified Taguchi method. *Journal of Engineering Design* , 16 (5), 443–458 .
- Johannesson, P., & Perjons, E. (2014). *An Introduction to Design Science*. Switzerland: Springer International Publishing .

- Jost, E. (2012). *Beautiful geometry*. Barcelona, España: Blume.
- King, A., & Sivaloganathan, S. (1999). Development of a Methodology for Concept Selection in Flexible Design Strategies. *Journal of Engineering Design*, , 10 (4), 329 - 349.
- Kuhn, C. (2013). Additive manufacturing in 3d product design and development practice: an interdisciplinary shift. *DEFSA 2013* (págs. 145 - 154). Vanderbijlpark: Design Education Forum of Southern Africa .
- Livio, M. (2013). *La ecuación jamás resuelta*. Barcelona, España: Ariel.
- Lockerbie, J. (2009). *Background to two-dimensional design – geometry and pattern*. Recuperado el 24 de marzo de 2014, de catnaps.org: <http://catnaps.org/islamic/geometry.html>
- Lokerbie, J. (2010). *Islamic Geometry, Other Studyes*. Recuperado el 25 de marzo de 2014, de catnaps.org: <http://catnaps.org/islamic/geometry4.html>
- Macdonald, A. (2001). Aesthetic intelligence: optimizing user-centred design . *Journal of Engineering design* , 12 (1), 37 - 45.
- Macnab, M. (2012). *Diseño inspirado en la naturaleza*. Madrid, España: Editorial Anaya.
- Madkour, Y., Neumann, O., & Erhan, H. (2009). Programmatic Formation: Practical Applications of Parametric Design. *international journal of architectural computing* , 7 (4), 587 603.
- Maher, M. L., & Tang, H.-H. (2003). Co-evolution as a computational and cognitive model of design. *Research in Engineering Design* , 14 (1), 47 - 63.
- Maier, J., & Fadel, G. (2007). A taxonomy and decision support for the design and manufacture of types of product families. *Journal of Intelligent Manufacturing* (18), 31 - 45.
- Mandelbrot, B. (1997). *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. España: Tusquets.
- Mengoni, M., Germani, M., & Manforli, F. (2007). Reverse engineering of aesthetic products: use of hand-made sketches for the design intent formalization. *Journal of Engineering Design* , 18 (5), 413–435 .
- Muñoz, P., Sequerira, A., Lopez coronel, j., & Raffo Magnasco, I. (2012). *La flexibilidad en la generacion de las formas*. Buenos Aires, Argentina: De la Forma UBA.
- Murillo, A. (2006). *Geometría Fractal o el Diseño de la Naturaleza*. Recuperado el 12 de Junio de 2014, de Sociedad, ciencia, tecnología y matemáticas. Universidad de Málaga.: <http://sctmates.webs.ull.es/modulo3lp/3/amurillo.pdf>
- Navarro De Zuñiga, J. (2008). *Forma y representación: Un análisis geométrico*. Madrid, España: AKAL.
- Otto, K., & Hölttä-Otto, K. (2007). A multi-criteria assessment tool for screening preliminary product platform concepts. *Journal of Intelligent Manufacturing* (18), 59–75.
- Patiño Mazo, E., & Elsie, A. O. (2011). *Generación y transformación de la forma. Morfología, geometría, Naturaleza y experimentación*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. .
- Picon, A., Petit, E., & Allais, L. (2004). The Ghost of Architecture: The Project and Its Codification. *Perspecta* , 35, 8-19.
- Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (1990). *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-.
- Raeder, P. (1992). *La geometría de la forma*. México, México: Editorial Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- Ramage, M. (2001). So What's a Metaproject For? *Systemic Practice and Action Research* , 14 (6), 669- 680.
- Richard Coyne, H. P. (2002). Design devices: digital drawing and the pursuit of difference. *Design Studies* , 23 (3), 263–286 .
- Sánchez Valencia, M. (2001). *Morfogénesis del Objeto de Uso. La forma como hecho social de convivencia*. Bogotá, Colombia: DiseñoLa.
- Sangyoun, k., & Jaisung, C. (2013). Safety analysis of roundabout designs based on geometry and speed characteristics. *Journal of civil Engineering* , 17 (6), 1446-1454 .
- Sheldon, D. F. (2006). Design Review 2005/2006 –The ever increasing maturity of design research papers and case studies. *Journal of Engineering Design* , 17 (6), 481–486.

- Siddique, Z., & Wilmes, L. (2007). An application of design space for assembly process reasoning to utilize current assembly plant resources for new product family members. *Journal of Intelligence Manufacturing* (18), 171–184.
- Soddu, C. (1998). *GENERATIVE ART '98 GA'98. First International Conference Politecnico di Milano University*,. Milano: Domus Argenia.
- Soddu, C., & Colabella, E. (2013). *GENERATIVE ART 2013 GA2013 - 16th International Conference Milano*. Milano: Domus Argenia .
- Soddu, C., & Colabella, E. (2014). *Generative art 2014 GA2014, XVII international conference. Rome*. Roma: Domus argenia .
- Soddu, C., & Colabella, E. (1992). *Il Progetto Ambientale di Morfogenesi codici genetici dell'artificiale*. Milano: Domus Argenia.
- Solórzano, A. (2011). Devenir histórico de la materialidad de los objetos y sus efectos en la dimensión estética. *DEARQ* (8), 54 - 61.
- Takala, T., & Charles, W. (1988). Industrial design based on geometric intentions . (N. A. Series, Ed.) *Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD* , 40, 953 - 963.
- Vallejo Lobete, E., Fadón Salazar, F., & Céron Hoyos, J. E. (2014). *La geometría, soporte de la idea en el proceso de diseño*. Recuperado el 15 de Marzo de 21015, de Universidad de Cantabria, Departamento de I.G. y Técnicas de Expresión Gráfica: www.degraf.ufpr.br/artigos_graphica/LAGEOMETRIA.pdf
- Vanden broeck, F. (2000). *El diseño de la naturaleza o la naturaleza del diseño*. México, México: Editorial Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Williams, C. (1984). *Los orígenes de la forma*. (H. Alsina Thevenet, Trad.) Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Williams, C. (2013). *Platform design for customizable products and processes with non-uniform demand*. Tesis Maestria, Georgia Institute of Technology, Mechanical Engineering., Atlanta.
- Williams, C., Allen, J., & Mistree, F. (2003). Platform Design for Customizable Products and Production Processes as a Problem of Access in a Geometric Space. *Journal Engineering Optimization* , 35 (3), 229 - 254.
- Wood, J. (2007). Win-Win-Win-Win-Win-Win: Synergy Tools for Metadesigners. En T. Inns, *Designing for the 21st Century, Interdisciplinary Questions and Insights*. Gower Publishing, .
- Xue, D., Cheing, S., & Gu, P. (2008). Parameter design considering the impact of design changes on downstream processes based upon the Taguchi method. *Journal of Engineering Design* , 19 (4), 299–319.
- Yamaguchi, F. (1988). *Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design*. Tokio, Japan: Springer - Verlag.
- Zhang, J., & Sun, C. (2013). Global Design and Local Materialization. *15th International Conference, CAAD Futures 2013*. Shanghai: Proceedings. Springer .
- Zhao, H., Icoz, T., Jaluria, Y., & Knight, D. (2007). Application of data-driven design optimization methodology to a multi-objective design optimization problem. *Journal of Engineering Design* , 18 (4), 343–359.